دليل عمليات OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. فهم بنية مستوى المستخدم 5G
3. مكونات UPF
4. بروتوكول PFCP وتكامل SMF
5. عمليات شائعة
6. استكشاف الأخطاء وإصلاحها
7. وثائق إضافية
8. معجم

نظرة عامة

هي وظيفة مستوى مستخدم عالية (eBPF وظيفة مستوى المستخدم المعتمدة على OmniUPF) توفر توجيه حزم بمستوى ناقل، وتطبيق جودة الخدمة (QoS)، وإدارة حركة المرور لأداء 5IG/LTE. مبنية على تقنية eBPF Linux (مرشح الحزم الممتد من بيركلي)، تقدم OmniUPF بنية تحتية أساسية لمعالجة الحزم المطلوبة ومعززة بقدرات إدارة شاملة لشبكات 5G SA و5G NSA وLTE.

ما هي وظيفة مستوى المستخدم؟

وظيفة مستوى المستخدم (UPF) هي عنصر الشبكة المعتمد من 3GPP المسؤول عن معالجة الحزم وتوجيهها في شبكات 5G وLTE. توفر:

- **توجيه حزم عالي السرعة** بين الأجهزة المحمولة وشبكات البيانات
- **تطبيق جودة الخدمة (QoS)** لأنواع حركة المرور المختلفة
- **اكتشاف حركة المرور وتوجيهها** بناءً على مرشحات الحزم والقواعد
- **تقرير الاستخدام** للشحن والتحليلات
- **تخزين الحزم** لسيناريوهات إدارة التنقل والجلسات
- **دعم الاعتراض القانوني** للامتثال التنظيمي

تقوم OmniUPF بتنفيذ كامل وظائف UPF 3 المحددة في 3GPP TS 23.501 (5G) و TS 23.401 (LTE)، مما يوفر حلاً كاملاً جاهزًا للإنتاج لوظيفة مستوى المستخدم باستخدام تقنية Linux kernel eBPF لتحقيق أقصى أداء.

القدرات الرئيسية لـ OmniUPF

معالجة الحزم:

- معالجة حزم مستوى المستخدم متوافقة تمامًا مع 3GPP
- مسار بيانات معتمد على eBPF لأداء على مستوى النواة
- تغليف وفك تغليف GTP-U (بروتوكول نفق GPRS)
- دعم IPv4 و IPv6 لكل من الشبكات الوصول وبيانات
- XDP (مسار البيانات السريع) لمعالجة ذات زمن تأخير منخفض للغاية
- معالجة حزم متعددة الخيوط

جودة الخدمة وإدارة حركة المرور:

- قواعد تطبيق جودة الخدمة (QER) لإدارة النطاق الترددي
- قواعد اكتشاف الحزم (PDR) لتصنيف حركة المرور
- قواعد إجراء التوجيه (FAR) لقرارات التوجيه
- تصفية تدفق بيانات الخدمة (SDF) للتوجيه المحدد للتطبيق
- قواعد تقرير الاستخدام (URR) لتتبع الحجم والشحن

التحكم والإدارة:

- واجهة PFCP (بروتوكول التحكم في توجيه الحزم) إلى SMF/PGW-C
- واجهة API RESTful للمراقبة والتشخيص
- إحصائيات ومقاييس في الوقت الحقيقي
- مراقبة سعة خريطة eBPF
- لوحة تحكم قائمة على الويب

ميزات الأداء:

- معالجة حزم بدون نسخ عبر eBPF
- توجيه حزم على مستوى النواة (بدون تحميل على مساحة المستخدم)
- قابلية التوسع متعددة النواة

- دعم التحميل لتسريع الأجهزة
- مُحسّن للنشر السحابي

للاستخدام التفصيلي للوحة التحكم، انظر عمليات واجهة الويب.

فهم بنية مستوى المستخدم

تعد OmniUPF 5G حلاً موحدًا لمستوى المستخدم يوفر توجيه حزم بمستوى ناقل لشبكات 5G المستقلة (SA) و5G NSA و4G LTE/EPC. **OmniUPF** **هو منتج واحد** يمكن أن يعمل في نفس الوقت كـ:

- **UPF (وظيفة مستوى المستخدم)** - 5G/NSA مستوى مستخدم (تحت السيطرة من قبل OmniSMF عبر N4/PFCP)
- **PGW-U (بوابة بيانات المستخدم)** - بوابة EPC 4G إلى الشبكات الخارجية (تحت السيطرة من قبل OmniPGW-C عبر Sxc/PFCP)
- **SGW-U (بوابة الخدمة لمستوى المستخدم)** - بوابة الخدمة EPC 4G (تحت السيطرة من قبل OmniSGW-C عبر Sxb/PFCP)

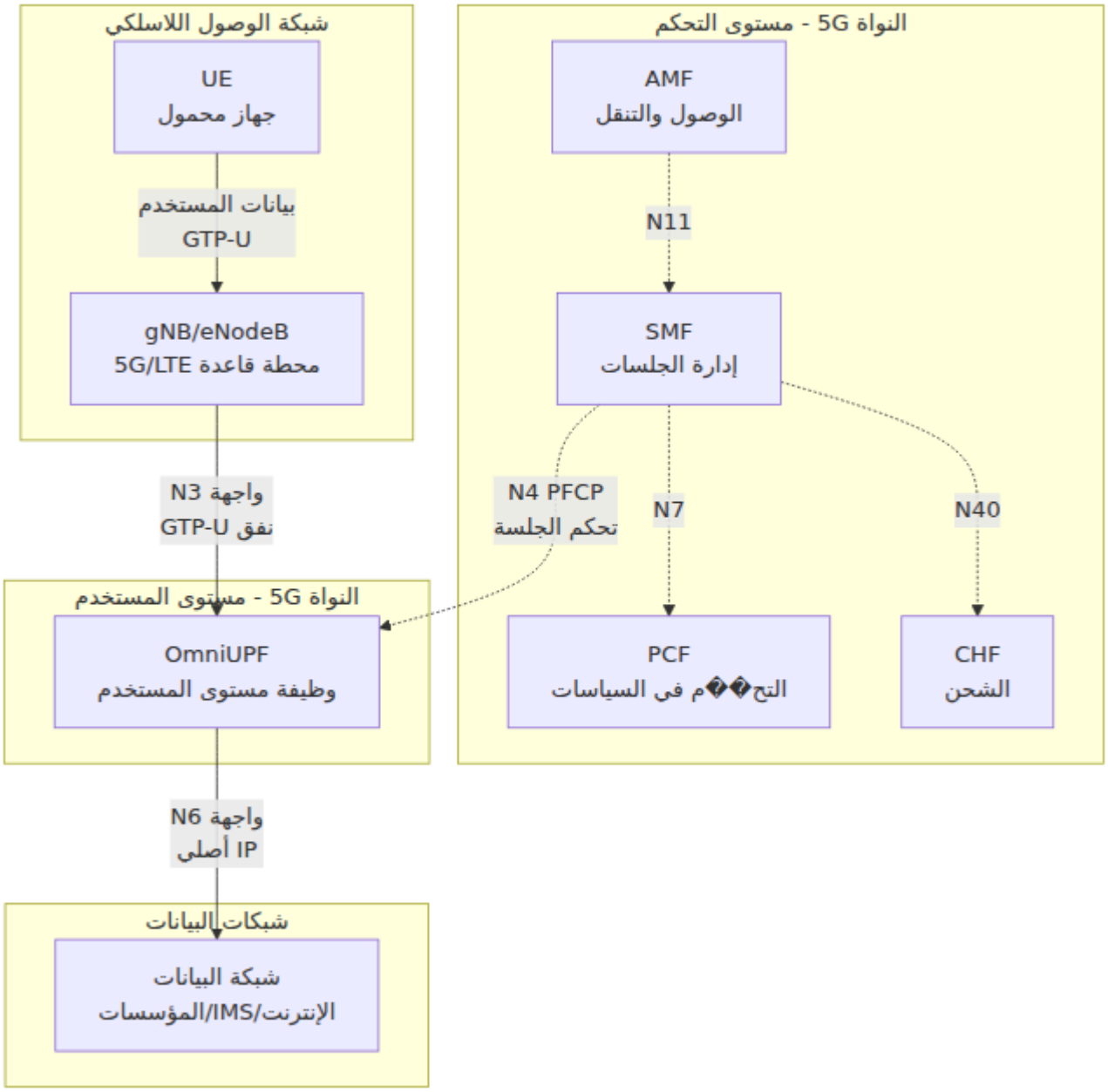
يمكن أن تعمل OmniUPF من هذه الأوضاع **أي مجموعة** في:

- **UPF** نشر 5: **فقط**G خالص
- **PGW-U + SGW-U**: 4 بوابةG مجمعة (نشر EPC النموذجي)
- **UPF + PGW-U + SGW-U**: 4 لـ متزامن دعمG 5وG (سيناريو الهجرة)

تستخدم جميع الأوضاع نفس محرك معالجة الحزم المعتمد على eBPF وبروتوكول PFCP، مما يوفر أداءً عاليًا متسقًا سواء كانت تعمل كـ UPF أو PGW-U أو SGW-U أو الثلاثة معًا.

بنية شبكة 5G (وضع SA)

يجلس حل OmniUPF 5G في مستوى البيانات لشبكات 5G، موفرًا طبقة توجيه حزم عالية السرعة تربط الأجهزة المحمولة بشبكات البيانات والخدمات.



---

4 بنية شبكةG LTE/EPC

تدعم OmniUPF 4 أيضًا نشرات G LTE وEPC (النواة المطورة للحزم)، تعمل كـ OmniPGW-U أو OmniSGW-U اعتمادًا على بنية الشبكة.

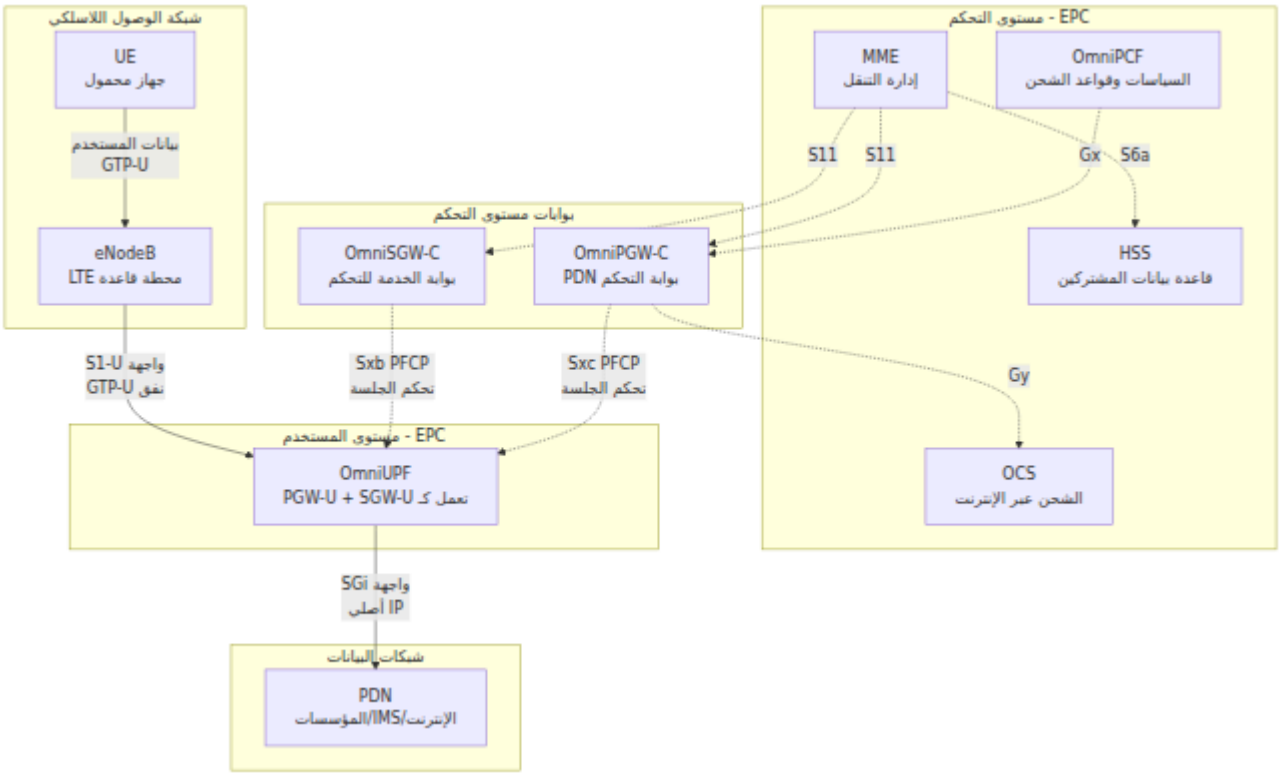
وضع PGW-U/SGW-U المدمج (4 نشرG النموذجي)

تحت السيطرة من قبل وظائف PGW-U وSGW-U كلاً من OmniUPF في هذا الوضع، تعمل مستوى التحكم المنفصلة.



وضع PGW-U و SGW-U المنفصل (التجوال/مواقع متعددة)

في نشرات التجوال أو المواقع المتعددة، يمكن نشر حالتين منفصلتين من OmniUPF - واحدة كـ PGW-U والأخرى كـ SGW-U.



كيف تعمل وظائف مستوى المستخدم في الشبكة

تعمل وظيفة مستوى المستخدم (OmniSGW-U أو OmniPGW-U أو OmniUPF) كطائرة توجيه تحت السيطرة من قبل الطائرة التحكم المعنية:

1. **إنشاء الجلسة**
    - **5G**: يقوم OmniSMF بإنشاء ارتباط PFCP عبر واجهة N4 مع OmniUPF
    - **4G**: يقوم OmniPGW-C أو OmniSGW-C بإنشاء ارتباط PFCP عبر Sxb/Sxc مع OmniPGW-U/OmniSGW-U
    - تنشئ الطائرة التحكم جلسات PFCP لكل جلسة PDU لـ UE (5G) أو سياق PDP (4G)
    - تتلقى الطائرة المستخدم قواعد PDR وFAR وQER وURR عبر PFCP
    - يتم ملء خرائط eBPF بقواعد التوجيه
2. **معالجة حزم الرفع** (UE → شبكة البيانات)
    - **5G**: تصل الحزم على واجهة N3 من gNB مع تغليف GTP-U
    - **4G**: تصل الحزم على واجهة S1-U (SGW-U) أو واجهة S5/S8 (PGW-U) من eNodeB مع تغليف GTP-U
    - تطابق الطائرة المستخدم الحزم مع PDRs الرافعة بناءً على TEID
    - يقوم برنامج eBPF بتطبيق QER (تحديد المعدل، التمييز)
    - تحدد FAR (توجيه، إسقاط، تخزين مؤقت، تكرار) إجراء التوجيه
    - تتم إزالة نفق GTP-U، ويتم توجيه الحزم إلى واجهة N6 (5G) أو SGi (4G)
    - تتتبع URR عدد الحزم والبكسلات للشحن
3. **معالجة حزم النزول** (شبكة ال��يانات → UE)
    - **5G**: تصل الحزم على واجهة N6 كـ IP أصلي
    - **4G**: تصل الحزم على واجهة SGi كـ IP أصلي
    - تطابق الطائرة المستخدم الحزم مع PDRs النزول بناءً على عنوان IP لـ UE
    - قد تصنف مرشحات SDF أو حركة المرور بشكل إضافي حسب المنفذ البروتوكول أو التطبيق
    - تحدد FAR نفق GTP-U ومعلمات التوجيه
    - تتم إضافة تغليف GTP-U مع TEID المناسب
    - **5G**: يتم توجيه الحزم إلى واجهة N3 نحو gNB

- **4G**: يتم توجيه الحزم إلى S1-U (SGW-U) أو S5/S8 (PGW-U) نحو eNodeB

4. **التنقل والتسليم**

- **5G**: يقوم OmniSMF بتحديث قواعد PDR/FAR خلال سيناريوهات التسليم
- **4G**: يقوم OmniSGW-C/OmniPGW-C بتحديث القواعد خلال التسليم بين eNodeB أو تحديث منطقة التتبع (TAU)
- قد تخزن الطائرة المستخدم الحزم خلال تبديل المسار
- انتقال سلس بين محطات القاعدة دون فقدان الحزم

التكامل مع الطائرة التحكم (4G 5وG)

يتكامل OmniUPF 5 مع كل من وظائف الطائرة التحكم 5G و4G 3 واجهات ر��ع GPP القياسية:

واجهات 5G

الواجهة	من → إلى	الغرض	مواصفة 3GPP
N4	OmniSMF ↔ OmniUPF	إنشاء جلسة PFCP، تعديل، حذف	TS 29.244
N3	gNB → OmniUPF	حركة مرور مستوى المستخدم من RAN (GTP-U)	TS 29.281
N6	OmniUPF → شبكة البيانات	حركة مرور مستوى المستخدم إلى DN (IP أصلي)	TS 23.501
N9	OmniUPF ↔ OmniUPF	الاتصال بين UPF للتجوال/الحافة	TS 23.501

واجهات 4G/EPC

الواجهة	من → إلى	الغرض	مواصفة 3GPP
Sxb	OmniSGW-C ↔ OmniUPF (وضع SGW-U)	التحكم في جلسة PFCP للبوابة الخدمية	TS 29.244
Sxc	OmniPGW-C ↔ OmniUPF (وضع PGW-U)	التحكم في جلسة PFCP للبوابة PDN	TS 29.244
S1-U	eNodeB → OmniUPF (وضع SGW-U)	حركة مرور مستوى المستخدم من RAN (GTP-U)	TS 29.281
S5/S8	OmniUPF (SGW-U) ↔ OmniUPF (PGW-U)	مستوى المستخدم بين البوابات (GTP-U)	TS 29.281
SGi	OmniUPF (وضع PGW-U) → PDN	حركة مرور مستوى المستخدم إلى شبكة البيانات (IP أصلي)	TS 23.401

ملاحظة: تستخدم جميع واجهات PFCP (Sxc وSxb وN4) نفس بروتوكول PFCP المحدد في TS 29.244. تختلف أسماء الواجهات ولكن البروتوكول وصيغ الرسائل متطابقة.

مكونات UPF

مسار بيانات eBPF

مسار بيانات eBPF يعد هو محرك معالجة الحزم الأساسي الذي يعمل في نواة Linux لتحقيق أقصى أداء.

الوظائف الأساسية:

- **معالجة GTP-U**: تغليف وفك تغليف أنفاق GTP-U
- **تصنيف الحزم**: مطابقة الحزم مع قواعد PDR باستخدام TEID، عنوان IP لـ UE، أو مرشحات SDF
- **تطبيق جودة الخدمة** QER: تطبيق تحديد المعدل وتمييز الحزم وفقًا لقواعد
- **قرارات التوجيه**: تنفيذ إجراءات FAR (توجيه، إسقاط، تخزين مؤقت، تكرار، إعلام)
- **تتبع الاستخدام**: زيادة عدادات URR للشحن القائم على الحجم

خرائط eBPF: يستخدم مسار البيانات خرائط eBPF (جداول التجزئة في ذاكرة النواة) لتخزين القواعد:

اسم الخريطة	الغرض	ال��فتاح	القيمة
`uplink_pdr_map`	PDRs الرافعة	TEID (32-bit)	معلومات PDR (معرف FAR، معرف QER، معرفات URR)
`downlink_pdr_map`	PDRs النزول (IPv4)	عنوان IP لـ UE	معلومات PDR
`downlink_pdr_map_ip6`	PDRs النزول (IPv6)	عنوان IPv6 لـ UE	معلومات PDR
`far_map`	قواعد التوجيه	معرف FAR	معلمات التوجيه (الإجراء، معلومات النفق)
`qer_map`	قواعد QoS	معرف QER	معلمات QoS (MBR، GBR، التمييز)
`urr_map`	تتبع الاستخدام	معرف URR	عدادات الحجم (الرفع، النزول، الإجمالي)
`sdf_filter_map`	مرشحات SDF	معرف PDR	مرشحات التطبيقات (المنافذ، البروتوكولات)

خصائص الأداء:

- **بدون نسخ**: تتم معالجة الحزم بالكامل في مساحة النواة
- **دعم XDP**: التعلق على مستوى برنامج تشغيل الشبكة لزمن تأخير أقل من ميكروثانية
- **متعددة النواة**: تتوسع عبر نوى CPU مع دعم خريطة لكل CPU
- **السعة**: ملايين من PDRs/FARs في خرائط eBPF (محدودة بذاكرة النواة)

رصد السعة، انظر إدارة السعة.

معالج واجهة PFCP

ت implement **واجهة PFCP** 3GPP TS 29.244 للتواصل مع SMF أو PGW-C.

الوظائف الأساسية:

- **إدارة الارتباط**: نبض وإعداد/إفراج الارتباط PFCP
- **دورة حياة الجلسة**: إنشاء، تعديل، وحذف جلسات PFCP
- **تثبيت القواعد**: ترجمة عناصر PFCP IE إلى إدخالات خريطة eBPF
- **تقرير الأحداث**: إعلام SMF بعوامل الاستخدام، الأخطاء، أو أحداث الجلسة

دعم رسائل PFCP:

نوع الرسالة	الاتجاه	الغرض
إعداد الارتباط	SMF → UPF	إنشاء ارتباط التحكم PFCP
إفراج الارتباط	SMF → UPF	إنهاء ارتباط PFCP
نبض	ثنائي الاتجاه	الحفاظ على الارتباط نشطًا
إنشاء الجلسة	SMF → UPF	إنشاء جلسة PDU جديدة مع PDR/FAR/QER/URR
تعديل الجلسة	SMF → UPF	تحديث القواعد للتنقل، تغييرات QoS
حذف الجلسة	SMF → UPF	إزالة الجلسة وجميع ��لقواعد المرتبطة بها
تقرير الجلسة	UPF → SMF	تقرير الاستخدام، الأخطاء، أو الأحداث

عناصر المعلومات (IE) المدعومة:

- إنشاء PDR، FAR، QER، URR
- تحديث PDR، FAR، QER، URR
- إزالة PDR، FAR، QER، URR
- معلومات اكتشاف الحزم (عنوان IP لـ UE، F-TEID، مرشح SDF)
- معلمات التوجيه (مثيل الشبكة، إنشاء رأس خارجي)

- معلمات QoS (MBR، GBR، QFI)
- محركات تقرير الاستخدام (عتبة الحجم، عتبة الوقت)

خادم REST API

يوفر **REST API** وصولًا برمجيًا إلى حالة UPF وعملياته.

الوظائف الأساسية:

- **مراقبة الجلسات**: استعلام عن جلسات PFCP النشطة والارتباطات
- **فحص القواعد**: عرض تكوينات PDR وFAR وQER وURR
- **الإحصائيات**: استرجاع عدادات الحزم، إحصائيات المسار، إحصائيات XDP
- **إدارة التخزين المؤقت**: عرض والتحكم في تخزين الحزم
- **معلومات الخريطة**: مراقبة استخدام خريطة eBPF والسعة

نقاط النهاية API: (34 نقطة نهاية إجمالية)

الفئة	نقاط النهاية	الوصف
الصحة	`/health`	فحص الصحة والحالة
التكوين	`/config`	تكوين UPF
الجلسات	`/pfcp_sessions`, `/pfcp_associations`	بيانات جلسة/ارتباط PFCP
PDRs	`/uplink_pdr_map`, `/downlink_pdr_map`, `/downlink_pdr_map_ip6`, `/uplink_pdr_map_ip6`	قواعد اكتشاف الحزم
FARs	`/far_map`	قواعد إجراء التوجيه
QERs	`/qer_map`	قواعد تطبيق جودة الخدمة
URRs	`/urr_map`	قواعد تقرير الاستخدام
التخزين المؤقت	`/buffer`	حالة التحكم في التخزين المؤقت للحزم
الإحصائيات	`/packet_stats`, `/route_stats`, `/xdp_stats`, `/n3n6_stats`	مقاييس الأداء
السعة	`/map_info`	سعة واستخدام خريطة eBPF
مسار البيانات	`/dataplane_config`	عناوين واجهة N3/N9

للحصول على تفاصيل API والاستخدام، انظر **دليل المراقبة**.

لوحة التحكم على الويب

توفر **لوحة التحكم على الويب** لوحة معلومات في الوقت الحقيقي لم��اقبة وإدارة UPF.

الميزات:

- **عرض الجلسات**: تصفح جلسات PFCP النشطة مع عنوان IP لـ UE وTEID وعدد القواعد
- **إدارة القواعد**: عرض وإدارة PDRs وFARs وQERs وURRs عبر جميع الجلسات
- **مراقبة التخزين المؤقت**: تتبع الحزم المخزنة والتحكم في التخزين المؤقت لكل FAR
- **لوحة إحصائيات**: إحصائيات حزم وطرق و XDP وإحصائيات واجهة N3/N6 في الوقت الحقيقي
- **مراقبة السعة**: استخدام خريطة eBPF مع مؤشرات سعة ملونة
- **عرض التكوين**: عرض تكوين UPF وعناوين مسار البيانات
- **عارض السجلات**: بث سجلات مباشرة لاستكشاف الأخطاء وإصلاحها

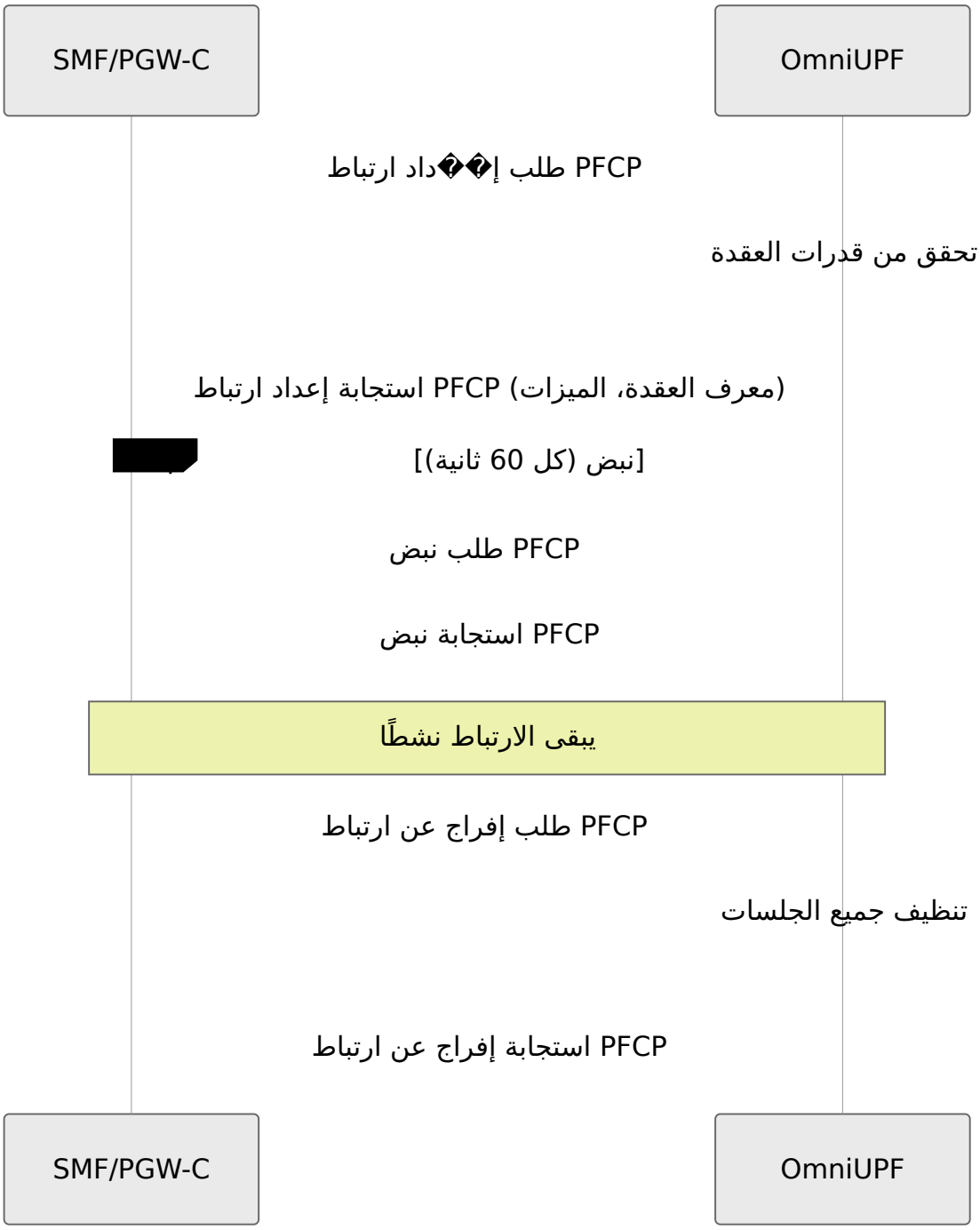
للحصول على عمليات واجهة المستخدم التفصيلية، انظر **دليل عمليات واجهة الويب**.

SMF وتكامل بروتوكول PFCP

ارتباط PFCP

قبل إنشاء الجلسات، يجب على SMF إنشاء ارتباط PFCP مع UPF.

دورة حياة الارتباط:



النقاط الرئيسية:

- يقوم كل SMF بإنشاء ارتباط واحد مع UPF
- يتتبع UPF الارتباط بواسطة معرف العقدة (عنوان IP أو FQDN)
- تحافظ رسائل النبض على نشاط الارتباط
- يتم حذف جميع الجلسات تحت ارتباط إذا تم الإفراج عن الارتباط

لرؤية الارتباطات، انظر عرض الجلسات.

وتنظيف الجلسات اليتيمة SMF اكتشاف إعادة تشغيل

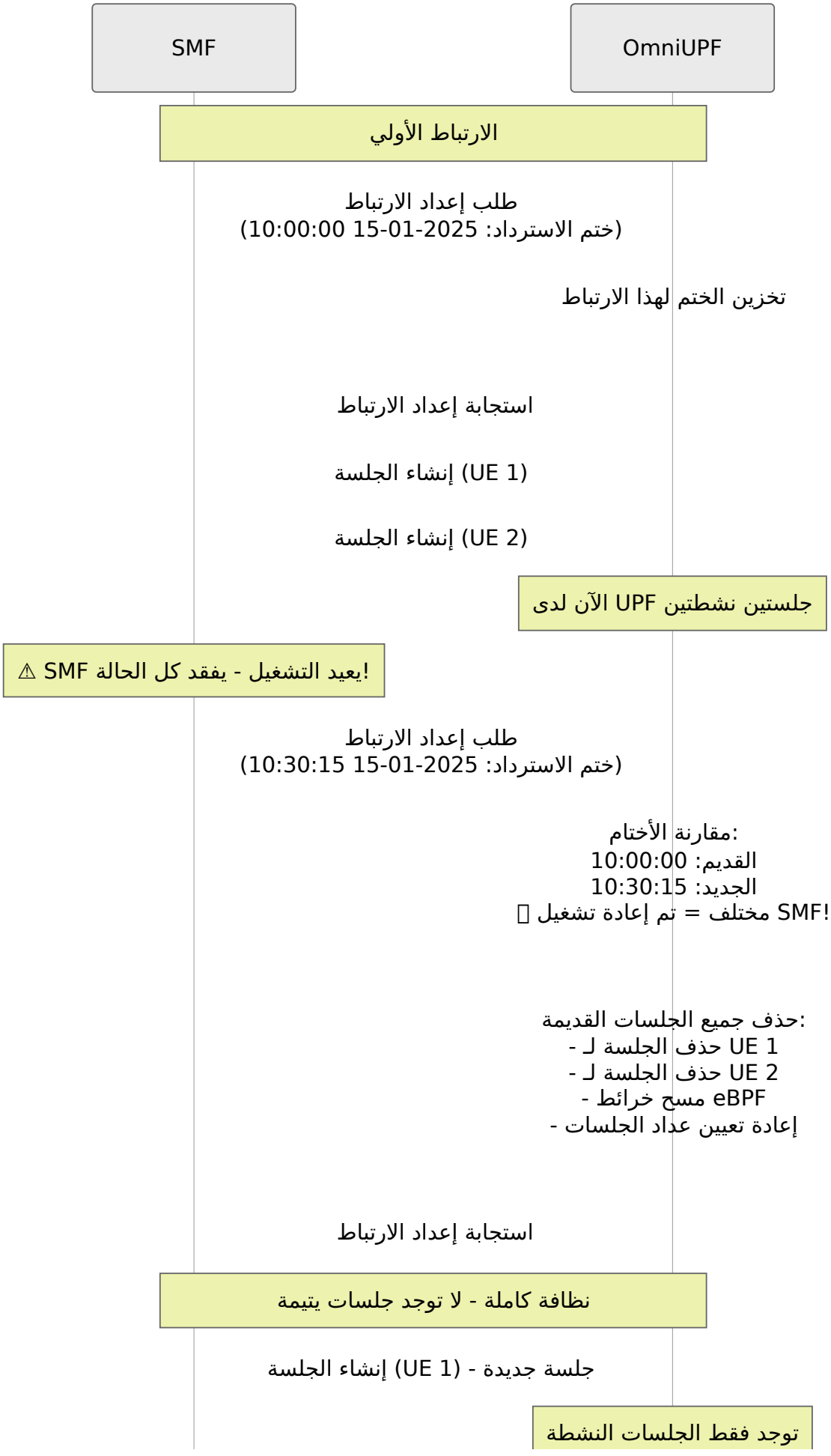
تكتشف OmniUPF تلقائيًا عندما يتم إعادة تشغيل SMF وفقًا لمواصفات 3GPP TS 29.244.

كيف يعمل ذلك:

عندما يقو�� SMF بإنشاء ارتباط PFCP، تقوم يشير إلى متى بدأ. فإنه يوفر **ختم الاسترداد** بتخزين هذا الختم لكل ارتباط. إذا أعيد تشغيل OmniUPF SMF:

1. يفقد SMF جميع حالة الجلسة في الذاكرة
2. يعيد SMF إنشاء ارتباط PFCP مع UPF
3. يرسل SMF (مختلف عن السابق) **ختم استرداد جديد**
4. تكتشف UPF تغيير الختم = تم إعادة تشغيل SMF
5. تحذف UPF من مثيل **جميع الجلسات اليتيمة** تلقائيًا SMF القديم
6. ينشئ SMF جلسات جديدة للمشتركين النشطين

تدفق اكتشاف إعادة التشغيل:


SMF
OmniUPF
الارتباط الأولي
طلب إعداد الارتباط
(ختم الاسترداد: 15-01-2025 10:00:00)
تخزين الختم لهذا الارتباط
استجابة إعداد الارتباط
إنشاء الجلسة (UE 1)
إنشاء الجلسة (UE 2)
جلستين نشطتين UPF الآن لدى
⚠ SMF يعيد التشغيل - يفقد كل الحالة!
طلب إعداد الارتباط
(ختم الاسترداد: 15-01-2025 10:30:15)
مقارنة الأختام:
القديم: 10:00:00
الجديد: 10:30:15
 مختلف = تم إعادة تشغيل SMF!
حذف جميع الجلسات القديمة:
- حذف الجلسة لـ UE 1
- حذف الجلسة لـ UE 2
- مسح خرائط eBPF
- إعادة تعيين عداد الجلسات
استجابة إعداد الارتباط
نظافة كاملة - لا توجد جلسات يتيمة
إنشاء الجلسة (UE 1) - جلسة جديدة
توجد فقط الجلسات النشطة



مثال على السجل:

عندما يتم إعادة تشغيل SMF، سترى:

```
WARN: الارتباط مع NodeID: smf-1 موجود بالفعل والعنوان: 192.168.1.10
WARN: تم تغيير ختم استرداد SMF (القديم: 15-01-2025T10:00:00Z، الجديد: 15-01-2025T10:30:15Z) - تم إعادة تشغيل SMF، حذف 245 جلسة يتيمة
INFO: 2 حذف الجلسة اليتيمة (LocalSEID) بسبب إعادة تشغيل SMF
INFO: 3 حذف الجلسة اليتيمة (LocalSEID) بسبب إعادة تشغيل SMF
...
INFO: 246 حذف الجلسة اليتي�ة (LocalSEID) بسبب إعادة تشغيل SMF
```

ملاحظات هامة:

1. **العزل**: يتم حذف جلسات SMF المعاد تشغيلها فقط. لا تتأثر ارتباطات SMF الأخرى وجلساتها **بأي شكل**.

2. **مقارنة الطوابع الزمنية**: إذا كانت الطوابع الزمنية للاسترداد** دون SMF تم إعادة الاتصال بـ) **متطابقة**، يتم **الاحتفاظ** بالجلسات (إعادة التشغيل).

3. **امتثال 3GPP**: هذا السلوك مفروض بموجب 3GPP TS 29.244 القسم 5.22.2:
   > "إذا كانت طابع الاسترداد الزمني لوظيفة CP قد تغيرت منذ آخر قد أعيد CP أن تعتبر أن وظيفة UP إعداد ارتباط، يجب على وظيفة CP المرتبطة بتلك الوظيفة PFCP تشغيلها ويجب عليها حذف جميع جلسات CP."

لإصلاح جلسات اليتيمة، راجع [دليل استكشاف الأخطاء](./docs/TROUBLESHOOTING.md).

معالجة إشارة خطأ GTP-U

يتعامل OmniUPF مع رسائل إشارة خطأ GTP-U من الأقران السفليين (PGW-U، SGW-U، eNodeB، gNodeB) وفقًا لمواصفات 3GPP TS 29.281.

ما هي إشارات الخطأ:

عندما يقوم OmniUPF بإعادة توجيه حزمة GTP-U إلى نظير بعيد (على سبيل المثال، PGW-U في نشر SGW-U)، إذا لم يتعرف على TEID (معرف نقطة نهاية النفق)، قد يرسل النظير إشارة **خطأ**. وهذا يدل على:
- أن النظير البعيد قد أعيد تشغيله وفقد حالة النفق
- أن النفق لم يتم إنشاؤه أبدًا على الجانب البعيد (عدم تطابق التكوين)
- أن النفق قد تم حذفه بالفعل على الجانب البعيد

كيف يعمل:

1. **UPF يرسل حزمة** → يعيد توجيه الحزمة** GTP-U مع TEID X إلى النظير البعيد (المنفذ 2152)
2. **النظير البعيد لا يتعرف على TEID X** → يبحث عن TEID في جدول الأنفاق الخاص به، غير موجود
3. **نوع رسالة** → النظير البعيد يرسل إشارة خطأ** GTP-U مع IE 26 تحتوي على TEID خاطئ
4. **UPF يستقبل إشارة خطأ** → يحلل الرسالة لاستخراج TEID X
5. **UPF يجد الجلسات المتأثرة** → يبحث في جميع الجلسات عن FARs التي تعيد توجيهها إلى TEID X
6. **UPF يحذف الجلسات** → يزيل الجلسات من خرائط eBPF وحالة PFCP
7. **UPF يزيد عدادات** → يحدث المقاييس** للمراقبة Prometheus

تدفق إشارة الخطأ:

```mermaid
sequenceDiagram
    participant UE as UE
    participant SGW_U as OmniUPF<br/>(دور SGW-U)
    participant PGW_U as PGW-U

    Note over PGW_U: PGW-U لديه نفق نشط<br/>TEID: 0x12345678

    UE->>SGW_U: حزمة بيانات صاعدة
    SGW_U->>PGW_U: GTP-U G-PDU<br/>(TEID: 0x12345678)
    Note over PGW_U: يعيد التوجيه بشكل طبيعي

    Note over PGW_U: ⚠ PGW-U يعيد التشغيل<br/>يفقد جميع حالة النفق!

    UE->>SGW_U: حزمة بيانات صاعدة
    SGW_U->>PGW_U: GTP-U G-PDU<br/>(TEID: 0x12345678)
    PGW_U->>PGW_U: بحث عن TEID 0x12345678<br/> غير موجود

    PGW_U->>SGW_U: ⚠ إشارة خطأ GTP-U<br/>(TEID 0 خاطئ: 0x12345678)

    SGW_U->>SGW_U: تحليل إشارة الخطأ<br/>استخراج TEID: 0x12345678
    SGW_U->>SGW_U: تعيد توجيهها إلى FAR<br/>العثور على الجلسات مع TEID 0x12345678
    SGW_U->>SGW_U: حذف الجلسات المتأثرة<br/>- الإزالة من خرائط eBPF<br/>- مسح حالة PFCP
    SGW_U->>SGW_U: تحديث المقاييس:<br/>error_indications_received++<br/>sessions_deleted++

    Note over SGW_U: توقف عن إعادة التوجيه إلى<br/>النفق الميت TEID 0x12345678
```

تنسيق الحزمة (3GPP TS 29.281 القسم 7.3.1):

```
GTP-U Error Indication:
┌──────────────────────────────────────────┐
│ GTP-U Header (12 bytes)                  │
├──────────────────────────┬───────────────┤
│ Version, PT, Flags       │ 0x32          │
│ Message Type             │ 26 (0x1A)     │
│ Length                   │ 9 bytes       │
│ TEID                     │ 0 (دائمًا)    │
│ Sequence Number          │ يتغير         │
│ N-PDU Number             │ 0             │
│ Next Extension Header    │ 0             │
├──────────────────────────┴───────────────┤
│ IE: TEID Data I (5 bytes)                │
├──────────────────────────┬───────────────┤
│ Type                     │ 16 (0x10)     │
│ Erroneous TEID           │ 4 bytes       │
└──────────────────────────┴───────────────┘
```

متى يكون هذا مهمًا:

السيناريو 1: إعادة تشغيل PGW-U في بنية GTP S5/S8

- SGW-U (OmniUPF) يعيد توجيه حركة المرور S5/S8 إلى PGW-U
- PGW-U يعيد التشغيل ويفقد جميع حالة النفق S5/S8
- SGW-U يستمر في إعادة التوجيه إلى TEIDs القديمة
- PGW-U يرسل إشارات خطأ
- SGW-U **يتوقف تلقائيًا عن استخدام الأنفاق الميتة**

السيناريو 2: إعادة تشغيل UPF النظير في بنية N9

- UPF-1 (OmniUPF) يعيد توجيه حركة مرور N9 إلى UPF-2
- UPF-2 يعيد التشغيل
- UPF-1 يستقبل إشارات خطأ
- UPF-1 ينظف الجلسات

مثال على السجل:

عند استلام إشارة خطأ:

```
WARN: Received GTP-U Error Indication from 192.168.50.10:2152 for
TEID 0x12345678 - remote peer doesn't recognize this TEID
WARN: Found session LocalSEID=42 with FAR GlobalId=1 forwarding to
erroneous TEID 0x12345678 from peer 192.168.50.10
INFO: Deleting session LocalSEID=42 due to GTP-U Error Indication
for TEID 0x12345678 from 192.168.50.10
WARN: Deleted 1 session(s) due to GTP-U Error Indication for TEID
0x12345678 from peer 192.168.50.10
```

مقاييس Prometheus:

راقب نشاط إشارة الخطأ بدقة لكل نظير ولكل عقدة:

```
# إجمالي إشارات الخطأ المستلمة من الأقران
upf_buffer_listener_error_indications_received_total&#123;node_id="pg
1",peer_address="192.168.50.10"&#125;

# الجلسات المحذوفة بسبب إشارات الخطأ
upf_buffer_listener_error_indication_sessions_deleted_total&#123;node
u-1",peer_address="192.168.50.10"&#125;

# إشارات الخطأ المرسلة (لـ TEIDs الواردة غير المعروفة)
upf_buffer_listener_error_indications_sent_total&#123;node_id="enodeb
1",peer_address="10.60.0.1"&#125;
```

تسميات المقاييس:

- `node_id`: معرف عقدة PFCP (أو "غير معروف" إذا لم يكن هناك ارتباط من الارتباط)
- `peer_address`: عنوان IP للنظير البعيد

تساعد هذه المقاييس في تحديد الأقران المشكوك فيها وتتبع أنماط إشارة الخطأ لكل عقدة في مستوى التحكم.

ملاحظات مهمة:

1. **التنظيف التلقائي**: لا حاجة لتدخل المشغل - يتم حذف الجلسات تلقائيًا
2. **مطابقة TEID**: يتم حذف الجلسات فقط مع FARs التي تعيد توجيهها إلى TEID الخاطئ بالض��ط

3. **عزل لكل نظير**: تؤثر إشارات الخطأ من نظير واحد فقط على الجلسات التي تعيد توجيهها إلى ذلك النظير

4. **جلسات متعددة**: إذا كانت هناك جلسات متعددة تعيد توجيهها إلى نفس TEID، الميت **يتم حذف جميعها**

5. **تكامل مع طابع الاسترداد الزمني**:
    - اكتشاف طابع الاسترداد الزمني = استباقي (يكتشف إعادة التشغيل أثناء إعداد الارتباط)
    - معالجة إشارة الخطأ = تفاعلي (يكتشف الأنفاق الميتة عندما تتدفق الحركة)

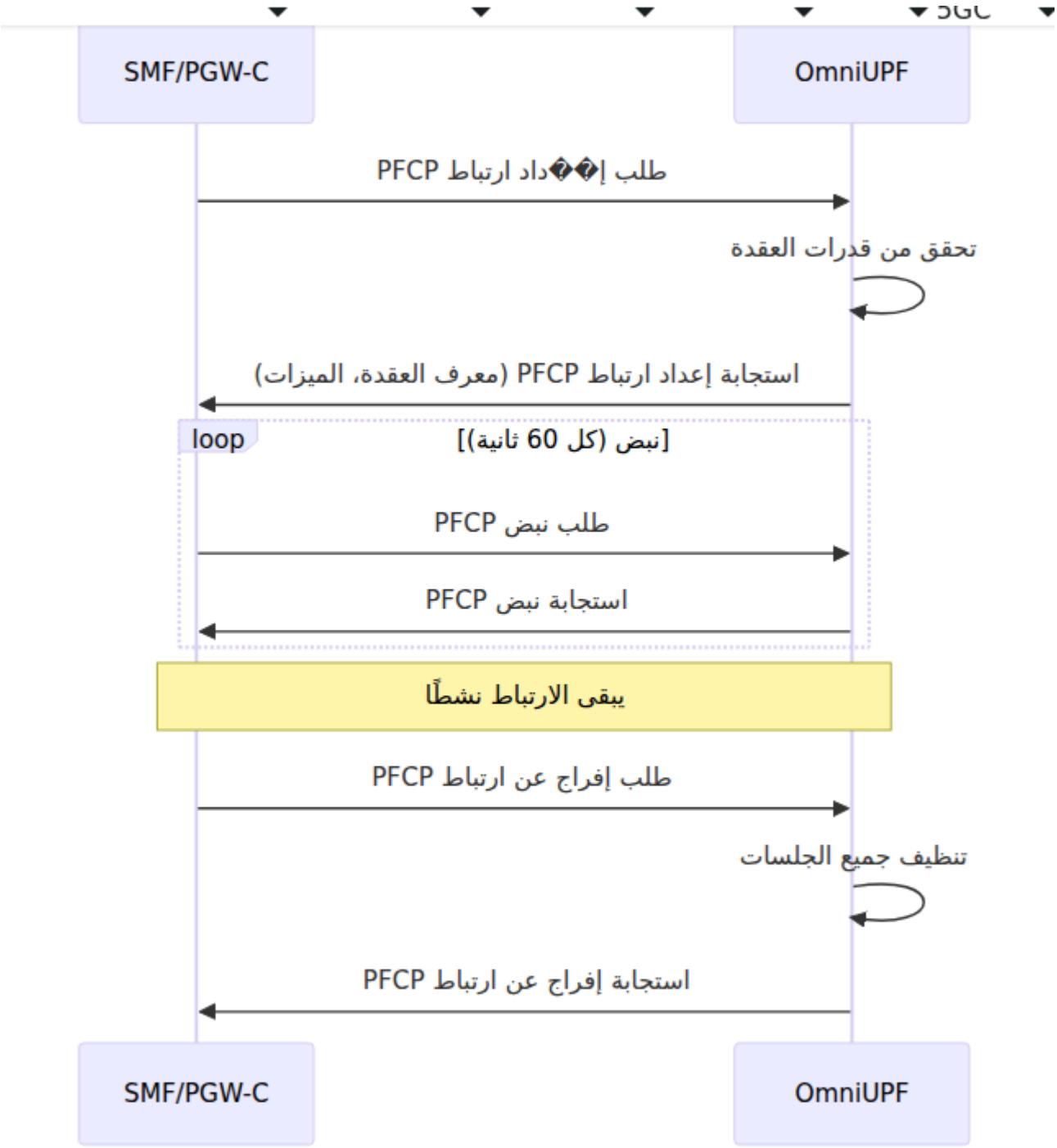
6. **معالجة الحزم غير الصحيحة**: يتم تسجيل إشارات الخطأ غير الصحيحة وتجاهلها (لا يتم حذف أي جلسات)

لإصلاح إشارات الخطأ، راجع دليل استكشاف الأخطاء.

إنشاء جلسة PFCP

عندما يقوم UE بإنشاء جلسة PDU (5G) أو سياق PDP (LTE)، يقوم SMF بإنشاء جلسة PFCP في UPF.

تدفق إنشاء الجلسة:



محتويات الجلسة النموذجية:

- **PDR** **صاعدة**: مطابقة على TEID N3، إعادة التوجيه عبر FAR إلى N6
- **PDR** **هابطة**: مطابقة على عنوان IP لـ UE، إعادة التوجيه عبر FAR إلى N3 مع تغليف GTP-U
- **FAR**: معلمات إعادة التوجيه (إنشاء رأس خارجي، مثيل الشبكة)
- **QER**: حدود QoS (MBR، GBR) وعلامة الحزمة (QFI)
- **URR**: تقارير الحجم للشحن (اختياري)

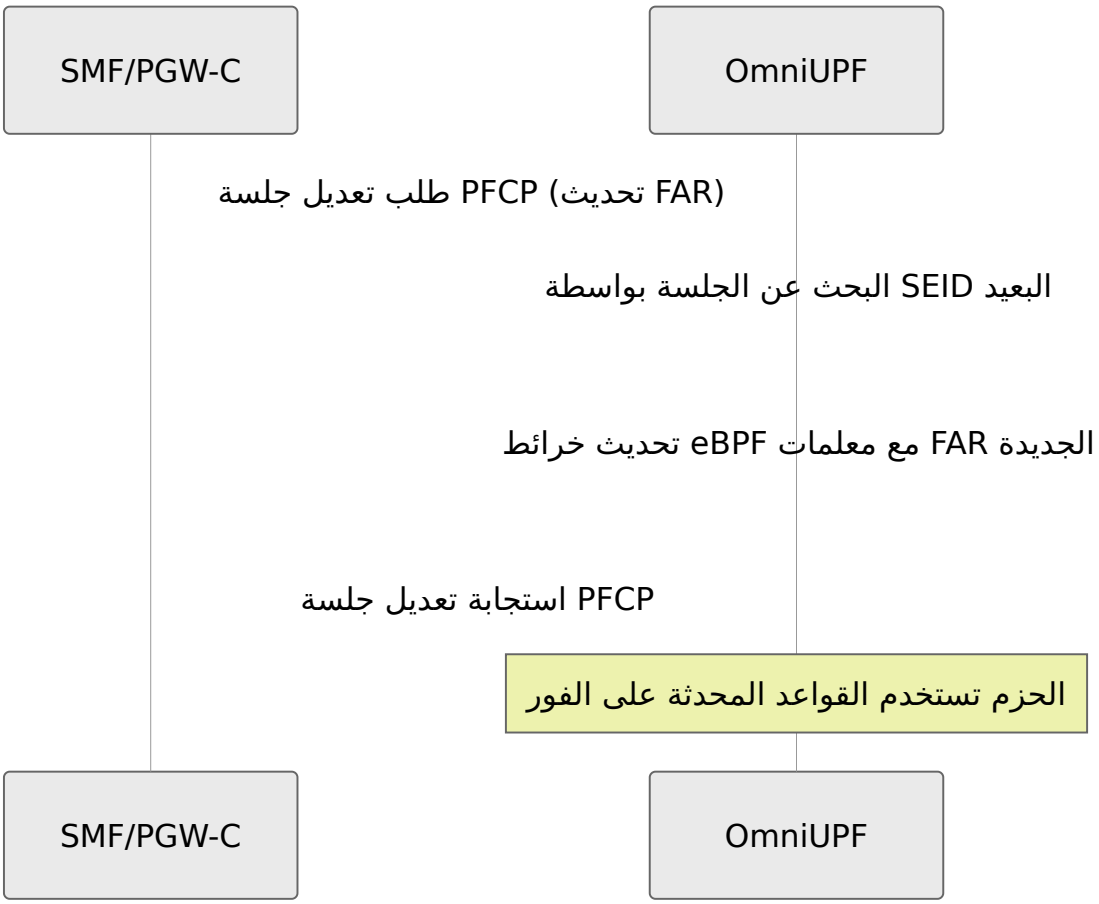
تعديل جلسة PFCP

يمكن لـ SMF تعديل الجلسات لأحداث التنقل (تبديل)، تغييرات QoS، أو تحديثات الخدمة.

سيناريوهات التعديل الشائعة:

1. **تبديل (مبني على N2)**
    - تحديث FAR صاعدة مع نقطة نهاية نفق gNB الجديدة (F-TEID)
    - يمكن تخزين الحزم مؤقتًا أثناء تبديل المسار
    - تفريغ المخزن إلى المسار الجديد عند الاستعداد
2. **تغيير QoS**
    - تحديث QER مع قيم MBR/GBR الجديدة
    - قد يتم إضافة/إزالة مرشحات SDF في PDR من أجل QoS محدد للتطبيق
3. **تحديث الخدمة**
    - إضافة PDRs جديدة لتدفقات حركة المرور الإضافية
    - تعديل FARs لتغييرات التوجيه

تدفق تعديل الجلسة:

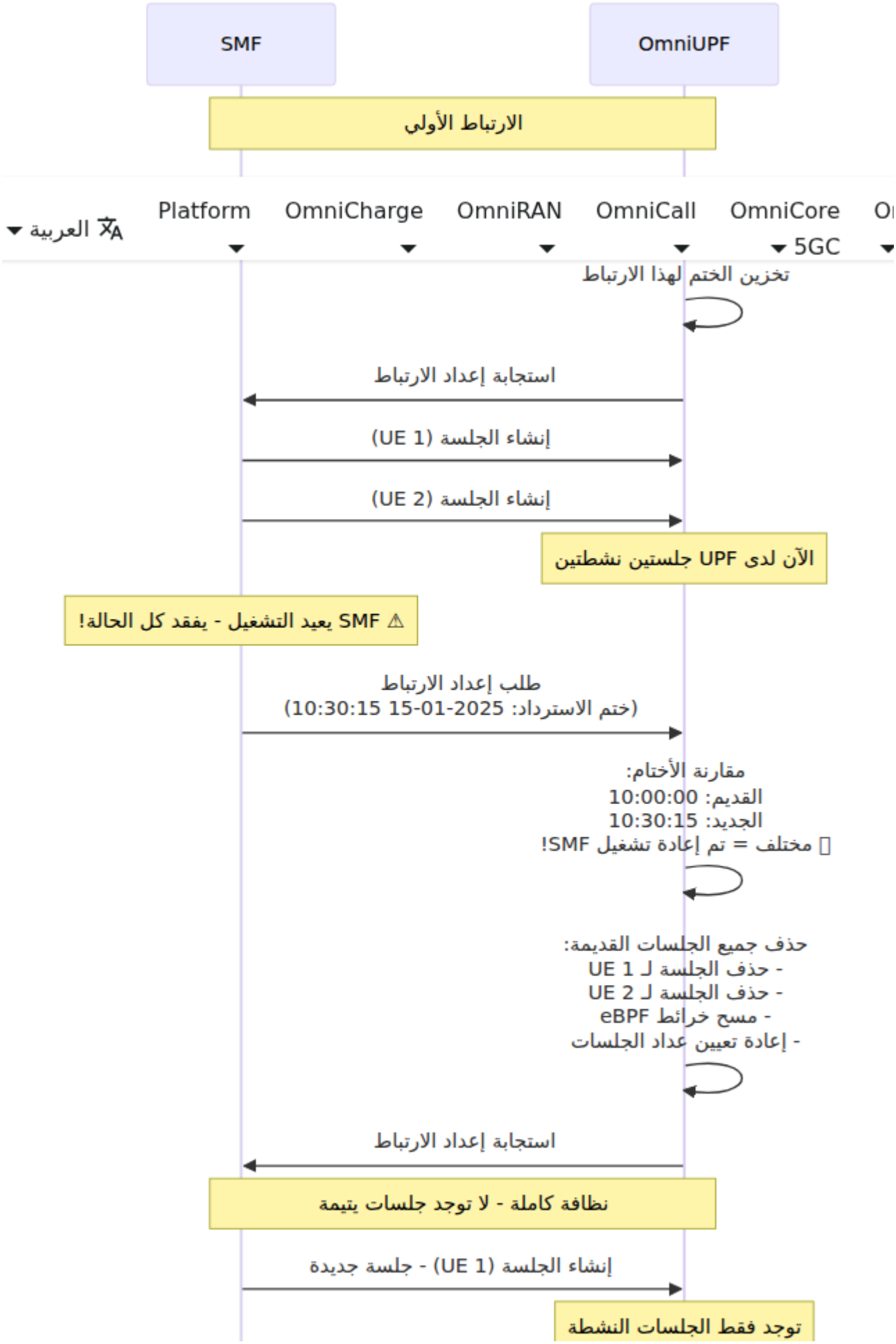


لإدارة القواعد، راجع دليل إدارة القواعد.

حذف جلسة PFCP

عندما يتم تحرير جلسة PDU، يقوم SMF بحذف جلسة PFCP في UPF.

تدفق حذف الجلسة:


SMF
OmniUPF
الارتباط الأولي
العربية
Platform
OmniCharge
OmniRAN
OmniCall
OmniCore
5GC
تخزين الختم لهذا الارتباط
استجابة إعداد الارتباط
إنشاء الجلسة (UE 1)
إنشاء الجلسة (UE 2)
الآن لدى UPF جلستين نشطتين
⚠ SMF يعيد التشغيل - يفقد كل الحالة!
طلب إعداد الارتباط
(ختم الاسترداد: 10:30:15 15-01-2025)
مقارنة الأختام:
القديم: 10:00:00
الجديد: 10:30:15
 مختلف = تم إعادة تشغيل SMF!
حذف جميع الجلسات القديمة:
- حذف الجلسة لـ UE 1
- حذف الجلسة لـ UE 2
- مسح خرائط eBPF
- إعادة تعيين عداد الجلسات
استجابة إعداد الارتباط
نظافة كاملة - لا توجد جلسات يتيمة
إنشاء الجلسة (UE 1) - جلسة جديدة
توجد فقط الجلسات النشطة



التنظيف المنفذ:

- إزالة جميع PDRs (صاعدة وهابطة)
- إزالة جميع FARs، QERs، URRs
- مسح المخازن الحزم
- إرسال تقرير الاستخدام النهائي إلى SMF للشحن

ا��عمليات الشائعة

يوفر OmniUPF قدرات تشغيل شاملة من خلال لوحة التحكم المستندة إلى الويب وواجهة برمجة التطبيقات REST. تغطي هذه القسم المهام التشغيلية الشائعة وأهميتها.

مراقبة الجلسة

فهم جلسات PFCP:

تمثل جلسات PFCP جلسات PDU النشطة لـ UE (5G) أو سياقات PDP (LTE). تحتوي كل جلسة على:

- SEIDs (معرفات نقطة نهاية الجلسة) المحلية والبعيدة
- PDRs لتصنيف الحزم
- FARs لقرارات إعادة التوجيه
- QERs لتطبيق QoS (اختياري)
- URRs (اختياري) لتتبع الاستخدام

العمليات الرئيسية للجلسة:

- **عرض جميع الجلسات** مع عناوين IP لـ UE، TEIDs، وعدد القواعد
- **تصفية الجلسات** حسب عنوان IP أو TEID
- **فحص تفاصيل الجلسة** بما في ذلك تكوينات PDR/FAR/QER/URR الكاملة
- **مراقبة عدد الجلسات** لكل ارتباط PFCP

لإجراءات الجلسة التفصيلية، راجع عرض الجلسات.

إدارة القواعد

قواعد كشف الحزم (PDR):

تحدد PDRs ��لحزم التي تتطابق مع تدفقات حركة المرور المحددة. يمكن للمشغلين:

- **عرض PDRs** **الصاعدة** المفاتيح بواسطة TEID من واجهة N3
- **عرض PDRs** **الهابطة** المفاتيح بواسطة عنوان IP لـ UE (IPv4 وIPv6)
- **فحص مرشحات SDF** للتصنيف المحدد للتطبيق
- **مراقبة عدد PDRs** واستخدام السعة

قواعد إجراءات إعادة التوجيه (FAR):

تحدد FARs ما يجب القيام به مع الحزم المطابقة. يمكن للمشغلين:

- **عرض إجراءات FAR** (FORWARD، DROP، BUFFER، DUPLICATE، NOTIFY)
- **فحص معلمات إعادة التوجيه** (إنشاء رأس خارجي، وجهة)
- **مراقبة حالة التخزين المؤقت** لكل FAR
- **تبديل التخزين المؤقت** لقواعد FAR محددة أثناء استكشاف الأخطاء

قواعد تطبيق QoS (QER):

تطبق QERs حدود النطاق الترددي وعلامات الحزم. يمكن للمشغلين:

- **عرض معلمات QoS** (MBR، GBR، ميزانية تأخير الحزمة)
- **مراقبة QERs** **النشطة** لكل جلسة
- **فحص علامات QFI** لتدفقات QoS 5G

قواعد تقارير الاستخدام (URR):

تبع URRs ��أحجام البيانات للشحن. يمكن للمشغلين:

- **عرض عدادات الحجم** (الرفع، التنزيل، إجمالي البايتات)
- **مراقبة حدود الاستخدام** ومحفزات التقارير
- **فحص URRs** **النشطة** عبر جميع الجلسات

لعمليات القواعد، راجع دليل إدارة القواعد.

التخزين المؤقت للحزم

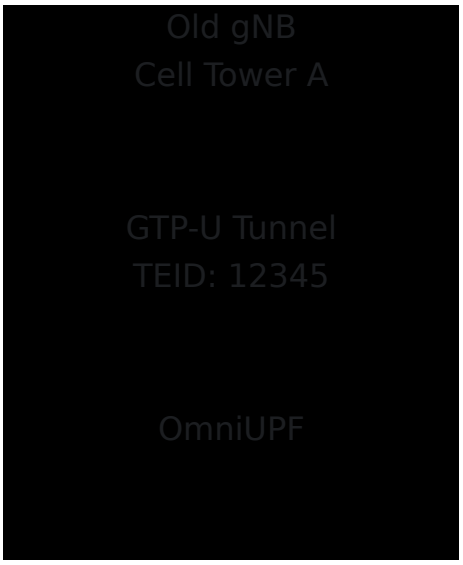
لماذا يعتبر التخزين المؤقت أمرًا حيويًا لـ UPF

يعد التخزين المؤقت للحزم واحدة من أهم وظائف UPF لأنه يمنع فقدان الحزم أثناء أحداث التنقل وإعادة تكوين الجلسة. بدون التخزين المؤقت، سيواجه المستخدمون المتنقلون انقطاعات في الاتصال، وتنزيلات متقطعة، وفشل في الاتصالات في الوقت الحقيقي في كل مرة ينتقلون فيها بين أبراج الخلايا أو عندما تتغير ظروف الشبكة.

المشكلة: فقدان الحزم أثناء التنقل

في الشبكات المتنقلة، يتحرك المستخدمون باستمرار. عندما ينتقل جهاز من برج خلية إلى آخر (تبديل)، أو عندما تحتاج الشبكة إلى إعادة تكوين مسار البيانات، هناك نافذة حرجة حيث تكون الحزم في الطيران ولكن المسار الجديد ليس جاهزًا بعد:


بعد التبديل
OmniUPF
GTP-U Tunnel
TEID: 67890
New gNB
Cell Tower B
أثناء التبديل - نافذة حرجة
Downlink Packets
arriving for UE
OmniUPF
 Can't send
Where to send?
Old path closing
New path not ready
قبل التبديل



بدون التخزين المؤقت: الحزم التي تصل خلال هذه النافذة الحرجة ستُعتبر **مفقودة**، مما يتسبب في:

- أو إعادة تعيينها (تصفح الويب، انقطاع التنزيلات) **توقف اتصالات TCP**
- فشل مكالمات) Zoom، Teams، WhatsApp) **تجمد مكالمات الفيديو** أو انقطاعها
- **انقطاع جلسات الألعاب** (فشل الألعاب عبر الإنترنت، التطبيقات في الوقت الحقيقي)
- أو انقطاعها تمامًا (انقطاعات المكالمات الهاتفية) **فجوات في مكالمات VoIP**
- **فشل التنزيلات** وضرورة إعادة التشغيل

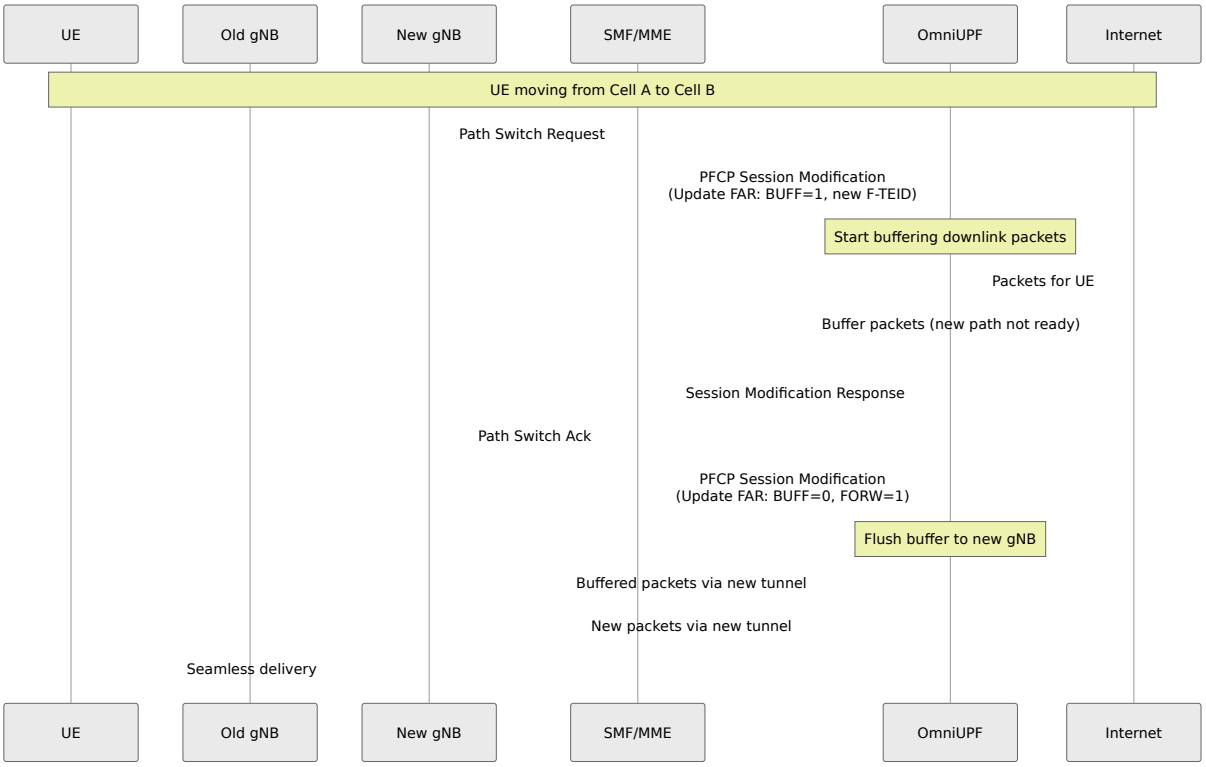
مؤقتًا بالحزم حتى يتم إنشاء المسار الجديد، ثم يعيد OmniUPF **مع التخزين المؤقت**: يحتفظ توجيهها بسلاسة. يختبر المستخدم **عدم وجود انقطاع**.

متى يحدث التخزين المؤقت

بتخزين الحزم في هذه السيناريوهات الحرجة OmniUPF يقوم:

1. تبديل مبني على N2 (5G) / تبديل مبني على X2 (4G)

بين أبراج الخلايا UE عندما يتحرك:



الجدول الزمني:

- **T+0ms**: المسار القديم لا يزال نشطًا
- **T+10ms**: SMF يخبر UPF بالتخزين المؤقت (المسار القديم يغلق، المسار الجديد ليس جاهزًا)
- **T+10-50ms**: **نافذة التخزين المؤقت الحرجة** - تصل الحزم ولكن لا يمكن إعادة توجيهها
- **T+50ms**: SMF يخبر UPF بإعادة التوجيه، المسار الجديد جاهز
- **T+50ms+**: UPF يفرغ الحزم المخزنة إلى المسار الجديد، ثم يعيد توجيه الحزم الجديدة بشكل طبيعي

بدون التخزين المؤقت: ~40 من الحزم (قد تكون آلاف) ستعتبر **مفقودة**. **مع التخزين المؤقت**: عدم فقدان الحزم، تبديل سلس ms.

---

2. تعديل الجلسة (تحديث المعلمات، تغيير QoS)

عندما تحتاج الشبكة إلى تغيير معلمات الجلسة:

- **ترقية/خفض QoS**: ينتقل المستخدم من تغطية 4G (وضع NSA) إلى 5G
- **تغيير السياسة**: يدخل المستخدم المؤسسي إلى الحرم الجامعي (تغييرات توجيه الحركة)

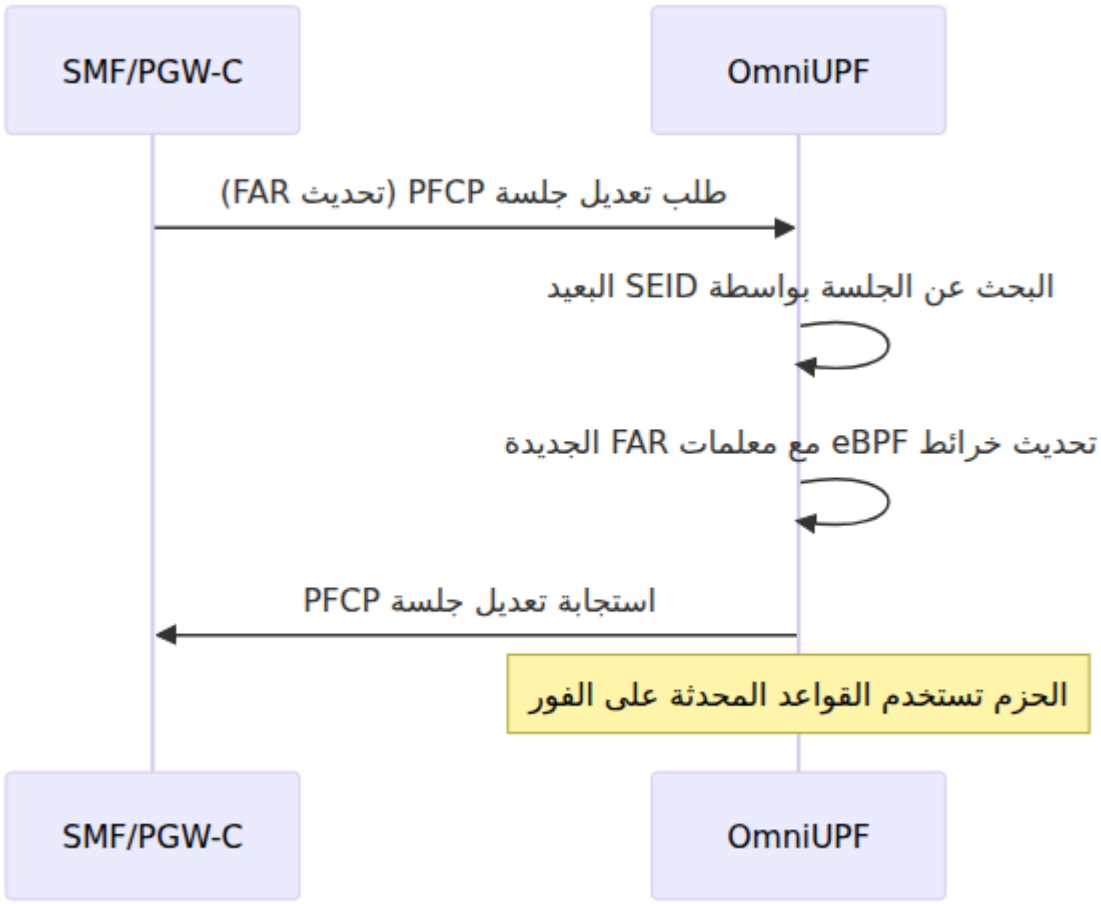
- (ULCL تحديث) أقرب UPF **تحسين الشبكة**: تعيد الشبكة الأساسية توجيه الحركة إلى

أثناء التعديل، قد تحتاج وحدة التحكم إلى تحديث قواعد متعددة بشكل ذري. يضمن التخزين المؤقت عدم إعادة توجيه الحزم مع مجموعات قواعد جزئية/غير متسقة.

---

3. إشعار بيانات هابطة (استعادة الوضع الخامل)

في وضع الخمول (الشاشة مطفأة، توفير الطاقة) وتصل بيانات هابطة UE عندما يكون:



بدون التخزين المؤقت: ستعتبر الحزمة الأولية التي أثارت الإشعار **مفقودة**، مما يتطلب من المرسل إعادة الإرسال (يضيف تأخيرًا). **مع التخزين المؤقت**: يتم تسليم الحزمة التي أيقظت الاتصال UE على الفور عندما يعيد UE.

---

4. تبديل بين RAT (4G ↔ 5G)

عندما يتحرك UE 4 بين تغطية 5G و4G:

- تتغير البنية (eNodeB ↔ gNB)

- تتغير نقاط نهاية النفق (تخصيص TEID مختلفة)
- يضمن التخزين المؤقت انتقالًا سلسًا بين أنواع RAT

كيف يعمل التخزين المؤقت في OmniUPF

الآلية الفنية:

يستخدم OmniUPF **بنية تخزين مؤقت من مرحلتين**:

1. **مرحلة eBPF (النواة)**: تكشف عن الحزم التي تتطلب التخزين المؤقت بناءً على علامات إجراءات FAR
2. **مرحلة المستخدم**: تخزن وتدير الحزم المخزنة في الذاكرة

عملية التخزين المؤقت:

Lexical error on line 3. Unrecognized text. ... N6] PDR_MATCH&fl°°123¶ßPDR Match?&fl° ----------^

المحاولة مجددا

تفاصيل رئيسية:

- منفذ: **منفذ التخزين المؤقت** UDP 22152 (الحزم المرسلة من eBPF إلى المستخدم)
- الحزم مغلفة في: **التغليف** GTP-U مع معرف FAR كـ TEID
- حزم في الذاكرة لكل FAR: **التخزين** (الطابع الزمني، الاتجاه، مع بيانات التعريف لكل جم الحزمة)
- **الحدود**:
  - حد لكل FAR: 10,000 (افتراضي) حزمة
  - حد عالمي: 100,000 حزمة عبر جميع FARs
  - TTL: 30 ثانية (افتراضي) - الحزم التي تزيد عن TTL يتم التخلص منها
- **التنظيف**: عملية خلفية تزيل الحزم المنتهية كل 60 ثانية

دورة حياة التخزين المؤقت:

1. **التخزين المؤقت مفعل**: SMF يحدد إجراء FAR BUFF=1 (البند 2) عبر تعديل جلسة PFCP

2. **تخزين الحزم**: eBPF يكشف عن علامة BUFF، يغلف الحزم، يرسل إلى المنفذ 22152
3. **تخزين المستخدم**: مدير التخزين يخزن الحزم مع معرف FAR، الطابع الزمني، الاتجاه
4. **التخزين المؤقت معطل**: SMF يحدد إجراء FAR FORW=1، BUFF=0 مع معلمات إعادة التوجيه الجديدة
5. **تفريغ المخزن**: يعيد المستخدم تشغيل الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR الجديدة (نقطة نهاية النفق الجديدة)
6. **استئناف الوضع الطبيعي**: يتم إعادة توجيه الحزم الجديدة على الفور عبر المسار الجديد

لماذا يهم هذا لتجربة المستخدم

التأثير في العالم الحقيقي:

السيناريو	بدون التخزين المؤقت	مع التخزين المؤقت
مكالمة فيديو أثناء التبديل	تتجمد المكالمة لمدة 1-2 ثانية، قد تنقطع	سلس، لا انقطاع
تنزيل ملف عند حافة الخلية	يفشل التنزيل، يجب إعادة البدء	يستمر التنزيل دون انقطاع
ألعاب عبر الإنترنت أثناء الحركة	تنقطع الاتصال، يتم طردك من اللعبة	لعب سلس، لا انقطاعات
مكالمة VoIP في السيارة	تنقطع المكالمة في كل تبديل	واضحة تمامًا، لا انقطاعات
بث الفيديو على القطار	يتوقف الفيديو، تنخفض الجودة	تشغيل سلس
نقطة اتصال متنقلة للكمبيوتر المحمول	تفشل SSH، تنقطع جلسة مكالمة الفيديو	يتم الحفاظ على جميع الاتصالات

فوائد مشغل الشبكة:

- **حاسم لجودة الشبكة KPI**: معدل انخفاض المكالمات المنخفض (CDR)
- **زيادة رضا العملاء**: لا يلاحظ المستخدمون الانتقالات
- **خفض تكاليف الدعم**: شكاوى أقل حول الاتصالات المقطوعة
- **ميزة تنافسية**: تسويق "أفضل شبكة للتغطية"

عمليات إدارة الذاكرة المؤقتة

يمكن للمشغلين مراقبة والتحكم في التخزين المؤقت عبر واجهة الويب وAPI:

المراقبة:
- **عرض الحزم المخزنة مؤقتًا** لكل معرف FAR (العدد، البايتات، العمر)
- **تتبع استخدام الذاكرة المؤقتة** مقابل الحدود (عالمي، لكل FAR)
- **تنبيه عند تجاوز الذاكرة المؤقتة** أو مدة التخزين المؤقت المفرطة
- **تحديد الذاكرات العالقة** (الحزم المخزنة مؤقتًا > عتبة TTL)

عمليات التحكم:
- **تفريغ الذاكرة المؤقتة**: تفعيل إعادة تشغيل الذاكرة المؤقتة يدويًا (استكشاف الأخطاء وإصلاحها)
- **مسح الذاكرة المؤقتة**: التخلص من الحزم المخزنة مؤقتًا (تنظيف الذاكرات العالقة)
- **تعديل TTL**: تغيير وقت انتهاء صلاحية الحزمة
- **تعديل الحدود**: زيادة سعة الذاكرة المؤقتة لكل FAR أو عالمي

استكشاف الأخطاء وإصلاحها:
- **تفريغ**: تحقق مما إذا كان SMF قد أرسل تحديث الذاكرة المؤقتة لا تتفريغ لتعطيل التخزين المؤقت FAR
- **تجاوز الذاكرة المؤقتة**: زيادة الحدود أو التحقيق في سبب طول مدة التخزين المؤقت
- **مرتفعًا جدًا**: قد يكون حزم قديمة في الذاكرة المؤقتة، أو TTL تأخر تحديث FAR
- **SMF**: قد يشير إلى مشاكل في التنقل أو مشاكل في تخزين مؤقت مفرط

للحصول على تفاصيل عمليات الذاكرة المؤقتة، راجع [دليل إدارة الذاكرة المؤقتة](./docs/WEB_UI.md#buffer-management).

```
---

#### تكوين الذاكرة المؤقتة

قم بتكوين سلوك التخزين المؤقت في `/etc/omniupf/runtime.exs`:

```elixir
# إعدادات الذاكرة المؤقتة
buffer_port = 22152                # منفذ UDP للحزم المخزنة مؤقتًا (افتراضي)
```

التوصيات:

- **الشبكات ذات الحركة العالية** (الطرق السريعة، القطارات): زيادة `buffer_max_packets` إلى 20,000+
- **المناطق الحضرية الكثيفة** (الانتقالات المتكررة): تقليل `buffer_packet_ttl` إلى 15 ثانية
- **التطبيقات ذات الكمون المنخفض**: تعيين `buffer_packet_ttl` إلى 10 ثوانٍ لمنع البيانات القديمة
- **شبكات IoT**: تقليل الحدود (أجهزة IoT تنتج حركة مرور أقل أثناء الانتقال)

للحصول على خيارات التكوين الكاملة، راجع دليل التكوين.

الإحصائيات والمراقبة

إحصائيات الحزم:

مقاييس معالجة الحزم في الوقت الحقيقي بما في ذلك:

- **حزم RX**: إجمالي الحزم المستلمة من جميع الواجهات
- **حزم TX**: إجمالي الحزم المرسلة إلى جميع الواجهات
- **الحزم المفقودة**: الحزم التي تم التخلص منها بسبب الأخطاء أو السياس��ت
- **حزم GTP-U**: عدد الحزم المعبأة

إحصائيات المسار:

مقاييس التوجيه لكل مسار:
```

- **ضربات المسار**: الحزم المطابقة لكل مسار
- **أعداد التوجيه**: النجاح/الفشل لكل وجهة
- **عدادات الأخطاء**: TEIDs غير صالحة، عناوين IP غير معروفة لـ UE

إحصائيات XDP:

مقاييس أداء eXpress Data Path:

- **المعالجة** XDP: الحزم التي تم التعامل معها في طبقة **XDP**
- **المرسلة**: الحزم المرسلة إلى كومة الشبكة **XDP**
- **المفقودة** XDP: الحزم المفقودة في طبقة **XDP**
- **الملغاة**: أخطاء المعالجة **XDP**

إحصائيات واجهة N3/N6:

عدادات حركة المرور لكل واجهة:

- **N3 RX/TX**: حركة المرور إلى/من RAN (gNB/eNodeB)
- **N6 RX/TX**: حركة المرور إلى/من شبكة البيانات
- **إجمالي عدد الحزم**: إحصائيات الواجهة المجمعة

للحصول على تفاصيل المراقبة، راجع دليل المراقبة.

إدارة السعة

مراقبة سعة خريطة eBPF:

يعتمد أداء UPF على سعة خريطة eBPF. يمكن للمشغلين:

- **مراقبة استخدام الخريطة** مع مؤشرات النسبة المئوية في الوقت الحقيقي
- **عرض حدود السعة** لكل خريطة eBPF
- **تنبيهات ملونة**:
  - أخضر (<50%): عادي
  - أصفر (50-70%): حذر
  - كهرماني (70-90%): تحذير
  - أحمر (>90%): حرج

الخرائط الحرجة للمراقبة:

- `uplink_pdr_map`: تصنيف حركة المرور الصاعدة
- `downlink_pdr_map`: تصنيف حركة مرور IPv4 الهابطة
- `far_map`: قواعد التوجيه
- `qer_map`: قواعد QoS
- `urr_map`: تتبع الاستخدام

تخطيط السعة:

- كل PDR (حجم المفتاح + حجم القيمة) يستهلك إدخال خريطة واحد
- UPF (حد ذاكرة النواة) يتم تكوين سعة الخريطة عند بدء تشغيل
- تجاوز السعة يتسبب في فشل إنشاء الجلسات

للحصول على مراقبة السعة، راجع إدارة السعة.

إدارة التكوين

تكوين UPF:

عرض والتحقق من معلمات تشغيل UPF:

- **واجهة N3**: عنوان IP للاتصال بـ RAN (GTP-U)
- **واجهة N6**: عنوان IP للاتصال بشبكة البيانات
- **واجهة N9**: عنوان IP للتواصل بين UPFs (اختياري)
- **واجهة PFCP**: عنوان IP للاتصال بـ SMF
- **منفذ API**: منفذ الاستماع لـ REST API
- منفذ مقاييس: **نقطة نهاية المقاييس** Prometheus

تكوين بيانات الطائرة:

معلمات eBPF النشطة:

- **النشط** N3: ربط واجهة **عنوان N3** في وقت التشغيل
- **النشط** N9: ربط واجهة **عنوان N9** في وقت التشغيل (إذا كان مفعلًا)

للحصول على عرض التكوين، راجع عرض التكوين.

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

تتناول هذه القسم المشكلات التشغيلية الشائعة واستراتيجيات حلها.

فشل إنشاء الجلسات

الأعراض: فشل جلسات PFCP في الإنشاء، لا يمكنه إنشاء اتصال بيانات UE

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **لم يتم إنشاء ارتباط PFCP**
    - تحقق مما إذا كان SMF يمكنه الوصول إلى واجهة PFCP لـ UPF (المنفذ 8805)
    - تحقق من حالة ارتباط PFCP في عرض الجلسات
    - تحقق من تطابق تكوين معرف العقدة بين SMF وUPF
2. **استنفاد سعة خريطة eBPF**
    - تحقق من عرض السعة لاستخدام الخريطة الأحمر (>90%)
    - زيادة أحجام خريطة eBPF في تكوين UPF
    - حذف الجلسات القديمة إذا كانت الخريطة ممتلئة
3. **تكوين PDR/FAR غير صالح**
    - تحقق من أن عنوان IP لـ UE فريد وصالح
    - تحقق من أن تخصيص TEID لا يتعارض
    - تأكد من أن FAR تشير إلى مثيلات الشبكة الصالحة
4. **مشكلات تكوين الواجهة**
    - تحقق من أن عنوان واجهة N3 يمكن الوصول إليه من gNB
    - تحقق من جداول التوجيه من أجل الاتصال بشبكة البيانات N6
    - تأكد من أن حركة مرور GTP-U غير محجوبة بواسطة جدار الحماية

للحصول على استكشاف الأخطاء وإصلاحها بالتفصيل، راجع دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها.

مشاكل فقدان الحزم أو التوجيه

الأعراض: UE لديه اتصال ولكنه يعاني من فقدان الحزم أو عدم وجود تدفق حركة المرور

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **تكوين PDR غير صحيح**
    - تحقق من أن TEID PDR الصاعدة يتطابق مع TEID المعين من gNB
    - تحقق من أن IP PDR الهابطة لـ UE يتطابق مع IP المعين
    - فحص مرشحات SDF لقواعد صارمة للغاية
2. **مشكلات إجراء FAR**
    - تحقق من أن إجراء FAR هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER)
    - تحقق من معلمات إنشاء الرأس الخارجي لـ GTP-U
    - تأكد من أن نقطة النهاية الوجهة صحيحة
3. **تجاوز حدود QoS**
    - تحقق من إعدادات MBR (معدل البت الأقصى) لـ QER
    - تحقق من تخصيص GBR (معدل البت المضمون)
    - مراقبة فقدان الحزم بسبب تحديد المعدل
4. **مشكلات MTU للواجهة**
    - تحقق من أن الحمل الزائد لـ GTP-U (بايت 40-50) لا يتسبب في التجزئة
    - تحقق من تكوين MTU لواجهات N3/N6
    - راقب رسائل ICMP التي تحتاج إلى التجزئة

مشاكل متعلقة بالذاكرة المؤقتة

الأعراض: حزم مخزنة مؤقتًا إلى أجل غير مسمى، تجاوز الذاكرة المؤقتة

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **عدم تعطيل التخزين المؤقت بعد الانتقال**

- تحقق من علامة تخزين FAR (البند 2)
- قد أرسل تعديل الجلسة لتعطيل التخزين المؤقت SMF تحقق مما إذا كان
- تعطيل التخزين المؤقت يدويًا عبر لوحة التحكم إذا كانت عالقة

2. **انتهاء صلاحية TTL للذاكرة المؤقتة**

   - تحقق من عمر الحزمة في عرض الذاكرة المؤقتة
   - تحقق من تكوين TTL للذاكرة المؤقتة (قد يكون الافتراضي طويلاً جدًا)
   - مسح الذاكرات المؤقتة المنتهية يدويًا

3. **استنفاد سعة الذاكرة المؤقتة**

   - مراقبة إجمالي استخدام الذاكرة المؤقتة وحدود كل FAR
   - تحقق من القواعد غير المكونة بشكل صحيح التي تسبب تخزين مؤقت مفرط
   - تعديل الحدود القصوى للذاكرة المؤقتة لكل FAR والحد الأقصى الكلي

للحصول على استكشاف الأخطاء وإصلاحها المتعلقة بالذاكرة المؤقتة، راجع عمليات الذاكرة المؤقتة.

شذوذ الإحصائي��ت

الأعراض: عدادات الحزم غير المتوقعة، إحصائيات مفقودة

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **تجاوز العداد**

   - عدادات 64 بت (يجب ألا تتجاوز) eBPF تستخدم خرائط
   - تحقق من أحداث إعادة تعيين العداد في السجلات
   - تحقق من أن تقرير URR يعمل

2. **إحصائيات المسار لا تتحدث**

   - تحقق من أن برنامج eBPF متصل بالواجهات
   - تحقق من أن إصدار النواة يدعم ميزات eBPF المطلوبة
   - مراجعة إحصائيات XDP لأخطاء المعالجة

3. **عدم تطابق إحصائيات الواجهة**

    - مع عدادات واجهة النواة N3/N6 قارن إحصائيات
    - (مثل التوجيه المحلي) eBPF تحقق من حركة المرور التي تتجاوز
    - XDP تحقق من أن كل حركة المرور تمر عبر خطافات

تدهور الأداء

الأعراض: زمن انتقال مرتفع، إنتاجية منخفضة، تشبع وحدة المعالجة المركزية

التشخيص:

1. **مراقبة إحصائيات XDP**: أو الإلغاءات XDP تحقق من فقدان
2. **تحقق من زمن وصول خريطة eBPF**: يجب أن تكون عمليات البحث عن التجزئة أقل من ميكروثانية
3. **مراجعة استخدام وحدة المعالجة المركزية**: يجب أن يتم توزيع eBPF عبر النوى
4. **تحليل واجهة الشبكة**: تحقق من أن NIC يدعم تحميل XDP

اعتبارات القابلية للتوسع:

- **أداء XDP**: 10M+ حزمة في الثانية لكل نواة
- **سعة PDR**: ملايين PDRs مقيدة فقط بذاكرة النواة
- **عدد الجلسات**: آلاف الجلسات المتزامنة لكل مثيل UPF
- **الإنتاجية**: إنتاجية متعددة الجيجابت مع تحميل NIC المناسب

لتحسين الأداء، راجع دليل الهندسة المعمارية.

الوثائق الإضافية

أدلة عمليات محددة للمكونات

للحصول على عمليات مفصلة واستكشاف الأخطاء وإصلاحها لكل مكون من مكونات UPF:

دليل التكوين

مرجع تكوين كامل بما في ذلك:

- معلمات التكوين (YAML، متغيرات البيئة، CLI)

- أوضاع التشغيل (UPF/PGW-U/SGW-U)
- نظرة عامة على أوضاع إرفاق XDP
- توافق المحاكيات (Proxmox، VMware، KVM، Hyper-V، VirtualBox)
- توافق NIC ودعم برنامج تشغيل XDP
- أمثلة على التكوين لسيناريوهات مختلفة
- حجم الخريطة وتخطيط السعة

دليل أوضاع XDP

تكوين XDP التفصيلي والتحسين بما في ذلك:

- شرح أوضاع إرفاق XDP (عام/محلي/تحميل)
- مقارنة الأداء والمعايير
- خطوة بخطوة Proxmox VE المحلي على إعداد XDP
- تكوين متعدد الطوابير لأفضل أداء
- إعداد XDP على VMware ESXi وKVM وHyper-V
- واستكشاف الأخطاء وإصلاحها XDP التحقق من
- اختيار الأجهزة لأداء XDP

دليل الهندسة المعمارية

غوص تقني عميق بما في ذلك:

- أساس تقنية eBPF ودورة حياة البرنامج
- مع استدعاءات ذيل XDP خط أنابيب معالجة حزم
- تنفيذ بروتوكول PFCP
- بنية التخزين المؤقت (تغليف GTP-U 22152 إلى المنفذ)
- تحديد معدل نافذة QoS (نافذة 5 مللي ثانية)
- خصائص الأداء (3.5 µsزمن انتقال، 10 Mpps/core)

دليل إدارة القواعد

مرجع قواعد PFCP بما في ذلك:

- قواعد اكتشاف الحزم (PDR) - تصنيف الحركة
- قواعد إجراء التوجيه (FAR) - قرارات التوجيه مع علامات الإجراء
- قواعد تنفيذ QoS (QER) - إدارة النطاق الترددي (MBR/GBR)

- تتبع الحجم والتقارير - قواعد تقرير الاستخدام (URR)
- مخططات تدفق الحزم الصاعدة والهابطة
- منطق معالجة القواعد والأسبقية

دليل المراقبة

الإحصائيات وإدارة السعة بما في ذلك:

- إحصائيات واجهة N3/N6 وتوزيع الحركة
- إحصائيات معالجة XDP (تمرير/فقدان/إعادة توجيه/إلغاء)
- مراقبة سعة خريطة eBPF مع مناطق ملونة
- مقاييس الأداء (معدل الحزم، الإنتاجية، معدل الفقد)
- صيغ تخطيط السعة وتقدير الجلسات
- عتبات التنبيه وأفضل الممارسات

دليل عمليات واجهة الويب

استخدام لوحة التحكم بما في ذلك:

- نظرة عامة على لوحة المعلومات والتنقل
- مراقبة الجلسات (حالات صحية/غير صحية)
- فحص القواعد (تفاصيل PDR، FAR، QER، URR)
- مراقبة الذاكرة المؤقتة وحالة تخزين الحزم
- لوحة معلومات إحصائيات في الوقت الحقيقي
- تصور سعة خريطة eBPF
- عرض التكوين

توثيق API

مرجع كامل لـ REST API بما في ذلك:

- توثيق OpenAPI/Swagger التفاعلي
- ترقيم API (استنادًا إلى الصفحة واستنادًا إلى الإزاحة)
- نقاط نهاية جلسات PFCP والارتباطات
- قواعد اكتشاف الحزم (PDR) - IPv4وIPv6
- قواعد إجراء التوجيه (FAR)
- قواعد تنفيذ QoS (QER)

- قواعد تقرير الاستخدام (URR)
- إدارة الذاكرة المؤقتة للحزم
- نقاط نهاية الإحصائيات والمراقبة
- إدارة المسار ودمج FRR
- معلومات خريطة eBPF
- إدارة التكوين
- إرشادات المصادقة والأمان
- وأمثلة سير العمل الشائعة لـ API

مرجع المقاييس

توثيق مقاييس Prometheus بما في ذلك:

- مقاييس رسائل PFCP (عدادات، زمن الانتقال، الأخطاء لكل نظير)
- مقاييس إجراءات XDP (أحكام بيانات الطائرة)
- مقاييس الحزم (عدادات على مستوى البروتوكول مع تسميات packet_type)
- مقاييس جلسات PFCP (لكل عقدة في مستوى التحكم والارتباطات)
- مقاييس URR (حجم الحركة لكل نظير PFCP)
- مقاييس تخزين الحزم (حالة التخزين، السعة، الإنتاجية)
- مقاييس إشعار تقرير البيانات الهابطة (DLDR)
- مقاييس سعة خريطة eBPF (استخدام الموارد)
- أمثلة على تكوين Prometheus
- توصيات لوحة معلومات Grafana

مرجع رموز سبب PFCP

توثيق رموز خطأ PFCP بما في ذلك:

- تعريفات رموز السبب والتوافق مع 3GPP (TS 129.244)
- متى تحدث كل رمز سبب (نجاح، أخطاء العميل، أخطاء الخادم)
- سيناريوهات الفشل الشائعة مع الحلول
- استكشاف الأخطاء باستخدام مقاييس Prometheus
- إعداد الارتباط وفشل دورة حياة الجلسة
- خطوات تصحيح الأخطاء لمعدلات الرفض العالية
- توصيات التنبيه لرموز السبب

دليل إدار�ة مسارات UE

دمج توجيه FRR بما في ذلك:

- نظرة عامة على FRR (التوجيه الحر) والعمارة
- دورة حياة مزامنة مسار UE
- مزامنة المسار التلقائية مع خادم التوجيه
- إعلان المسار عبر BGP وOSPF
- مراقبة جيران OSPF
- التحقق من قاعدة بيانات OSPF External LSA
- إدارة جلسات نظير BGP
- واجهة مراقبة المسار في واجهة الويب
- عمليات مزامنة المسار اليدوية
- مخططات Mermaid لتدفق المسار والعمارة

دليل IPv6 / Dual-Stack

تشغيل IPv6 في مستوى المستخدم لجلسات PDN IPv6 وIPv4v6:

- المتطلبات الأساسية للنواة (تفعيل IPv6 والتوجيه)
- تكوين مجموعة عناوين IPv6 لـ UE
- إعلان OSPFv3 لمسارات مضيف UE `/128`
- سلوك بيانات الطائرة الهابطة/الصاعدة لـ IPv6
- إعلان المسار IPv6 استكشاف أخطاء توجيه

دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها

تشخيص شامل للمشاكل بما في ذلك:

- قائمة فحص تشخيصية سريعة والأدوات
- مشكلات التثبيت والتكوين
- فشل ارتباط PFCP
- مشاكل معالجة الحزم
- أخطاء eBPF وXDP
- تدهور الأداء
- مشكلات محددة بالمحاكي (Proxmox، VMware، VirtualBox)

- مشكلات NIC وبرامج التشغيل
- إجراءات حل خطوة بخطوة

الوثائق حسب حالة الاستخدام

تثبيت وتكوين OmniUPF

1. ابدأ مع هذا الدليل للحصول على نظرة عامة
2. دليل التكوين لمعلمات الإعداد
3. دليل واجهة الويب للوصول إلى لوحة التحكم

النشر على Proxmox

1. **ابدأ هنا للأداء** - إعداد XDP المحلي على Proxmox - دليل أوضاع XDP
2. دليل التكوين - توافق المحاكي
3. دليل التكوين Proxmox SR-IOV - إعداد
4. استكشاف الأخطاء وإصلاحها Proxmox - مشكلات

تحسين الأداء

1. **قم بتمكين XDP المحلي للحصول على زيادة في الأداء من 5-10 مرات** - دليل أوضاع XDP
2. دليل الهندسة المعمارية - تحسين الأداء
3. دليل التكوين XDP - أوضاع
4. دليل المراقبة - مقاييس الأداء
5. استكشاف الأخطاء وإصلاحها - مشكلات الأداء

فهم معالجة الحزم

1. دليل الهندسة المعمارية - خط أنابيب معالجة الحزم
2. دليل إدارة القواعد
3. دليل المراقبة - الإحصائيات

تخطيط السعة

1. دليل التكوين - حجم الخريطة
2. دليل المراقبة - تخطيط السعة

3. دليل المراقبة - تقدير سعة الجلسات

إدارة مسارات UE ودمج FRR

1. دليل تكامل التوجيه الكامل - دليل إدارة مسارات UE
2. إدارة المسار API للمسار - نقاط نهاية - توثيق API
3. دليل واجهة الويب - عمليات صفحة المسارات
4. التحقق من OSPF LSA - التحقق من FRR - إدارة مسار UE

استخدام REST API

1. مرجع API كامل - توثيق API
2. مستكشف API التفاعلي Swagger - توثيق API - واجهة
3. أمثلة على استخدام API - توثيق API - ميزات
4. واجهة الويب كعميل - دليل واجهة الويب مثال API

استكشاف المشكلات

1. ابدأ هنا - دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها
2. تحقق من الإحصائيات والسعة - دليل المراقبة
3. استخدم تشخيصات لوحة التحكم - دليل واجهة الويب

مرجع سريع

نقاط نهاية API الشائعة

يوفر OmniUPF واجهة برمجة تطبيقات REST للمراقبة والإدارة:

```
# الحالة والصحة
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_status

# ارتباطات PFCP
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline

# الجلسات
GET http://localhost:8080/api/v1/sessions

# الإحصائيات
GET http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
GET http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats

# مراقبة السعة
GET http://localhost:8080/api/v1/map_info

# إحصائيات الذاكرة المؤقتة
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info
```

للحصول على توثيق API الكامل، الوصول إلى واجهة Swagger على `http://<upf-ip>:8080/swagger/index.html`

معلمات التكوين الأساسية

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"             # الواجهات لحركة مرور
N3/N6/N9
xdp_attach_mode = "native"          # "تحميل" | "محلي" | "عام"
n3_address = "10.100.50.233"        # عنوان IP لواجهة N3
pfcp_address = "10.100.50.241"      # عنوان الاستماع لـ PFCP
pfcp_port = 8805                    # منفذ PFCP
node_id = "10.100.50.241"           # معرف العقدة لـ PFCP

# السعة
max_sessions = 100_000              # الحد الأقصى للجلسات
المتزامنة

# API
api_port = 8080                     # منفذ REST API
```

عتبات المراقبة الهامة

- **سعة خريطة eBPF < 70%**: تشغيل عادي
- **سعة خريطة eBPF 70-90%**: خطط لزيادة السعة خلال أسبوع واحد
- **سعة خريطة eBPF > 90%**: حرج - يتطلب إجراء فوري
- **معدل فقدان الحزم < 0.1%**: ممتاز
- **معدل فقدان الحزم 0.1-1%**: جيد - مشاكل طفيفة
- **معدل فقدان الحزم > 5%**: حرج - تحقق على الفور
- **الملغاة eBPF > 0** لبرنامج **XDP**: مشكلة حرجة مع برنامج

مرجع معايير 3GPP

يطبق OmniUPF 3 المواصفات التالية من 3GPP:

الصلة	العنوان	المواصفة
بنية UPF في 5G والواجهات	بنية النظام لنظام 5G (5GS)	**TS 23.501**
بنية UPF في LTE (PGW-U)	تحسينات خدمة الحزمة العامة للوصول (GPRS) إلى E-UTRAN	**TS 23.401**
بروتوكول PFCP N4	الواجهة بين عقد التحكم وعقد بيانات المستخدم (PFCP)	**TS 29.244**
تغليف GTP-U	بروتوكول نفق خدمة الحزمة العامة (GTPv1-U)	**TS 29.281**
QoS والفوترة	إطار التحكم في السياسة والفوترة لنظام 5G (5GS)	**TS 23.503**
تنفيذ QoS	التحكم في السياسة والفوترة (PCC)	**TS 29.212**

المعجم

مصطلحات بنية 5G

- **3GPP**: مشروع الشراكة للجيل الثالث - هيئة المعايير للاتصالات المتنقلة
- **AMF**: وظيفة إدارة الوصول والتنقل - عنصر شبكة الجيل الخامس للتحكم في الوصول
- **CHF**: وظيفة الفوترة - نظام الفوترة في الجيل الخامس
- **DN**: شبكة خارجية - شبكة البيانات (الإنترنت، IMS، المؤسسات)
- **eNodeB**: محطة قاعدة LTE - العقدة المتطورة B
- **F-TEID**: معرف نقطة النهاية للنفق المؤهل بالكامل - معرف نفق GTP-U مع عنوان IP
- **gNB**: محطة قاعدة 5G - العقدة التالية B
- **GTP-U**: بروتوكول نفق خدمة الحزمة العامة - بروتوكول النفق لبيانات المستخدم
- **MBR**: معلمة - الحد الأقصى لمعدل البت المسموح به QoS للنطاق الترددي الأقصى
- **GBR**: معلمة - معدل البت المضمون QoS للنطاق الترددي الأدنى المضمون
- **N3**: الواجهة بين RAN وUPF (حركة مرور بيانات المستخدم)
- **N4**: الواجهة بين SMF وUPF (تحكم PFCP)
- **N6**: الواجهة بين UPF وشبكة البيانات (حركة مرور بيانات المستخدم)
- **N9**: الواجهة بين UPFs (حركة مرور بيانات المستخدم بين UPFs)
- **PCF**: وظيفة التحكم في السياسة - خادم السياسة في الجيل الخامس
- **PDU**: وحدة بيانات البروتوكول - جلسة بيانات في الجيل الخامس
- **PGW-C**: بوابة PDN - نظير لطبقة التحكم LTE لـ SMF
- **PGW-U**: بوابة PDN - بيانات لطبقة المستخدم LTE (مكافئ UPF)
- **QFI**: معرف تدفق QoS - تمييز تدفق QoS في الجيل الخامس
- **QoS**: جودة الخدمة - أولوية الحركة وإدارة النطاق الترددي
- **RAN**: شبكة الوصول الراديوي - شبكة محطة القاعدة (gNB/eNodeB)
- **SEID**: معرف نقطة نهاية الجلسة - معرف جلسة PFCP
- **SMF**: وظيفة إدارة الجلسة - عنصر شبكة الجيل الخامس للتحكم في الجلسة
- **TEID**: معرف نقطة نهاية النفق - معرف نفق GTP-U
- **UE**: معدات المستخدم - جهاز محمول
- **UPF**: وظيفة بيانات المستخدم - عنصر شبكة توجيه الحزم في الجيل الخامس

مصطلحات بروتوكول PFCP

- **Association**: العلاقة التحكمية بين SMF و UPF
- **FAR**: قاعدة إجراء التوجيه - تحدد سلوك توجيه الحزم
- **IE**: عنصر المعلومات - مكون رسالة PFCP
- **Node ID**: معرف SMF أو UPF (عنوان IP أو FQDN)
- **PDR**: قاعدة اكتشاف الحزم - تصنف الحزم إلى تدفقات
- **PFCP**: بروتوكول التحكم في توجيه الحزم - بروتوكول التحكم N4
- **QER**: قاعدة فرض جودة الخدمة - تطبق حدود النطاق الترددي والتوسيم
- **SDF**: تدفق بيانات الخدمة - فلتر حركة المرور الخاص بالتطبيق
- **Session**: جلسة PFCP تمثل جلسة PDU لـ UE أو سياق PDP
- **URR**: قاعدة تقرير الاستخدام - تتبع أحجام البيانات للفوترة

مصطلحات eBPF ونواة لينكس

- **BPF**: فلتر الحزم من بيركلي - تقنية تصفية الحزم في النواة
- **eBPF**: BPF الموسع - مسار بيانات النواة القابل للبرمجة
- **Hash Map**: مخزن القيم المفتاحية eBPF للبحث السريع
- **XDP**: مسار البيانات السريع - معالجة الحزم في النواة على مستوى السائق
- **Verifier**: مكون النواة الذي يتحقق من سلامة برامج eBPF
- **Map**: هيكل بيانات eBPF مشترك بين النواة وفضاء المستخدم
- **Zero-copy**: معالجة الحزم دون النسخ إلى فضاء المستخدم

مصطلحات منتج OmniUPF

- **OmniUPF**: وظيفة مستوى المستخدم المعتمدة على eBPF (هذا المنتج)
- **Datapath**: محرك معالجة الحزم (برامج eBPF)
- **Control Plane**: معالج PFCP وإدارة الجلسات
- **REST API**: واجهة برمجة التطبيقات HTTP للمراقبة والإدارة
- **Web UI**: لوحة تحكم قائمة على المتصفح

دليل معمارية OmniUPF

جدول المحتويات

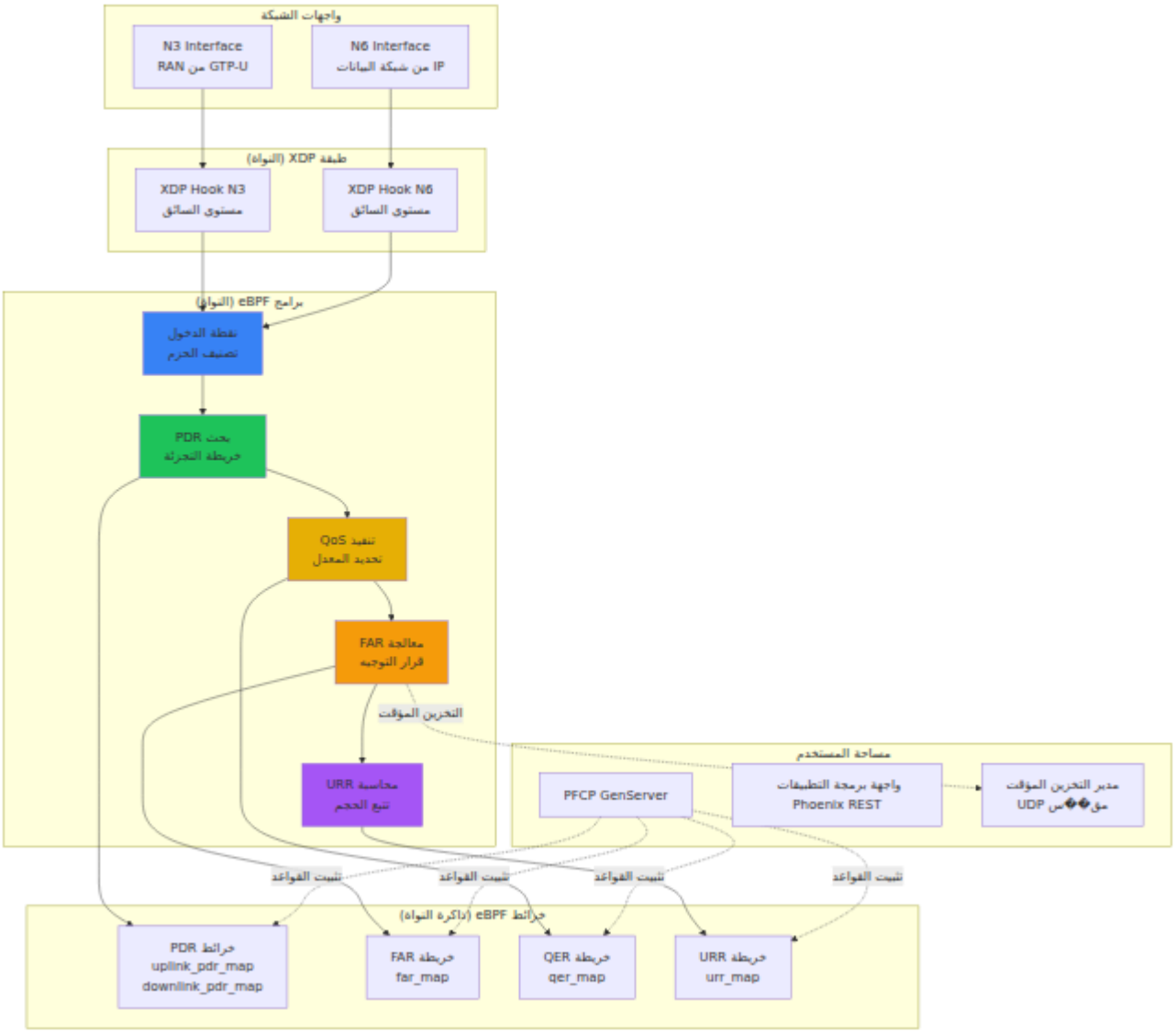
1. نظرة عامة
2. أساسيات تقنية eBPF
3. مسار بيانات XDP
4. خط معالجة الحزم
5. معمارية خريطة eBPF
6. آلية التخزين المؤقت
7. تنفيذ QoS
8. خصائص الأداء
9. قابلية التوسع والضبط

نظرة عامة

تستفيد OmniUPF من eBPF (مرشح الحزم بيركلي الموسع) وXDP (مسار البيانات السريع) لتحقيق أداء من الدرجة الناقلة لمعالجة حزم 5G/LTE. يتم تنفيذ مستوى التحكم في Elixir/OTP باستخدام إدارة جلسات PFCP المعتمدة على GenServer، بينما يعمل مستوى البيانات على تشغيل برامج eBPF مباشرة في نواة Linux. هذه الفجوة تقضي على عبء معالجة الحزم في مساحة المستخدم وتحقق من خلال ذلك إنتاجية متعددة الجيجابت مع زمن استجابة بالميكروثانية.

يتم تجميع ملف كائن eBPF (`ipentrypoint_bpf.o`) من مصدر C (في دليل `ebpf/xdp/`) ويتم تحميله في وقت التشغيل بواسطة مستوى التحكم في Elixir عبر روابط NIF إلى libbpf.

طبقات المعمارية



المبادئ الأساسية للتصميم

معالجة بدون نسخ:

- تتم معالجة الحزم بالكامل في مساحة النواة
- لا يوجد نسخ للبيانات بين النواة ومساحة المستخدم
- التلاعب المباشر بالحزم باستخدام XDP

هياكل بيانات خالية من القفل:

- جداول تجزئة لكل وحدة معالجة مركزية eBPF تستخدم خرائط
- عمليات ذرية للوصول المتزامن

- لا يوجد عبء قفل/قفل دوار

جاهز لتحميل الأجهزة:

- SmartNIC يدعم تنفيذ XDP وضع تحميل
- XDP متوافق مع بطاقات الشبكة التي تدعم
- العودة إلى أوضاع السائق الأصلية أو العامة

أساسيات تقنية eBPF

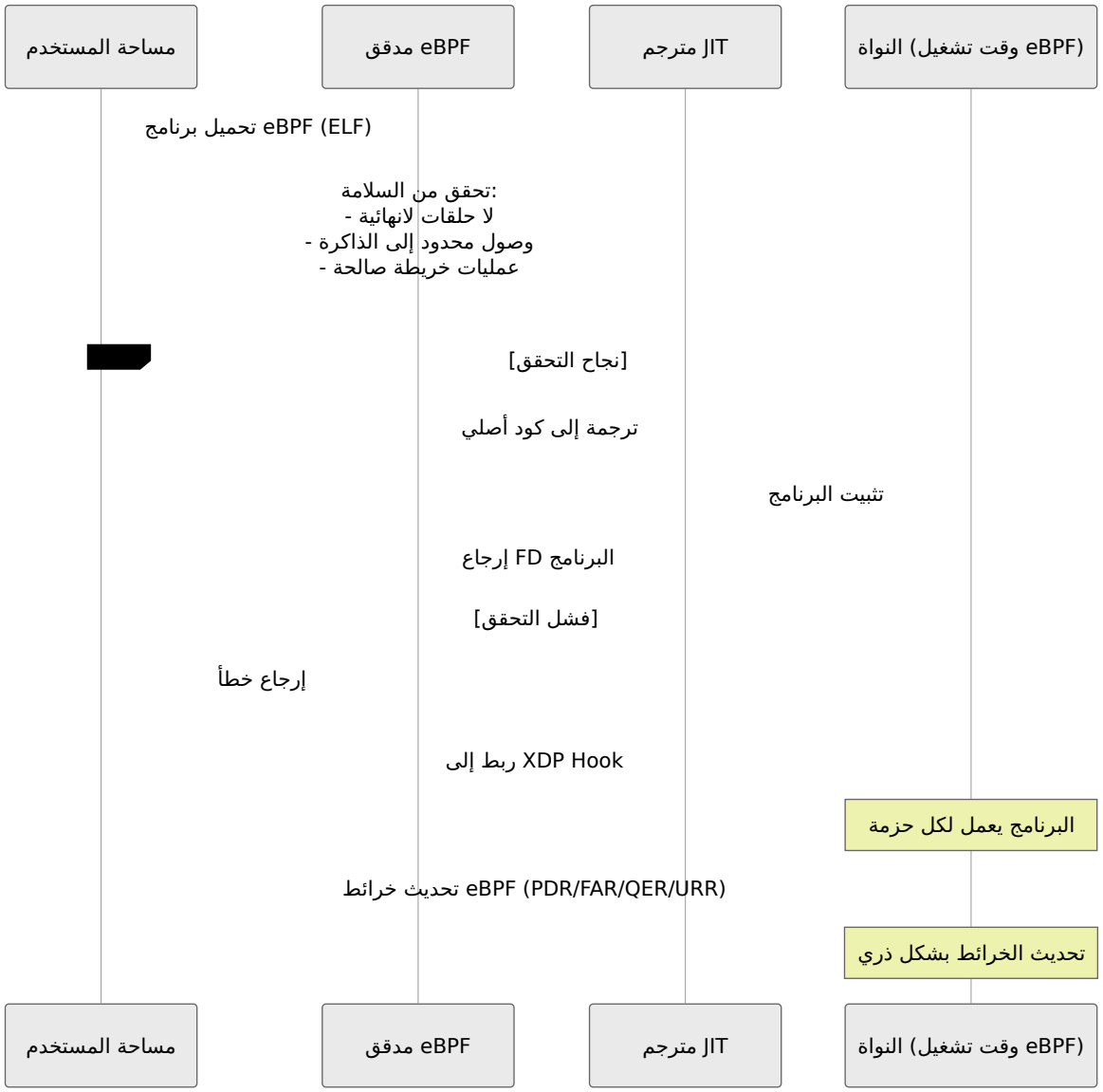
ما هو eBPF؟

eBPF (مرشح الحزم بيركلي الموسع) هو تقنية ثورية في نواة Linux تسمح بتشغيل برامج آمنة ومحمية في مساحة النواة دون تغيير كود مصدر النواة أو تحميل وحدات النواة.

الميزات الرئيسية:

- **السلامة**: يضمن مدقق eBPF أن البرامج لا يمكن أن تتسبب في تعطل النواة
- **الأداء**: تعمل بسرعة النواة الأصلية (بدون عبء تفسير)
- **المرونة**: يمكن تحديثها في وقت التشغيل دون إعادة تشغيل النواة
- **قابلية المراقبة**: تتبع وإحصائيات مدمجة

دورة حياة برنامج eBPF



خرائط eBPF

خرائط eBPF هي هياكل بيانات في النواة مشتركة بين برامج eBPF ومساحة المستخدم.

أنواع الخرائط المستخدمة في OmniUPF:

نوع الخريطة	الوصف	حالة الاستخدام
`BPF_MAP_TYPE_HASH`	جدول تجزئة مع أزواج مفتاح-قيمة	بحث PDR بواسطة UE IP أو TEID
`BPF_MAP_TYPE_ARRAY`	مصفوفة مفهرسة بواسطة عدد صحيح	بحث QER، FAR، URR بواسطة ID
`BPF_MAP_TYPE_PERCPU_HASH`	جدول تجزئة لكل وحدة معالجة مركزية (خالي من القفل)	بحث PDR عالي الأداء
`BPF_MAP_TYPE_LRU_HASH`	جدول تجزئة LRU (الأقل استخدامًا مؤخرًا)	الإخلاء التلقائي للمدخلات القديمة

عمليات الخريطة:

- **بحث**: O(1) (بحث تجزئة (تحت الميكروثانية
- **تحديث**: تحديثات ذرية من مساحة المستخدم
- **حذف**: إزالة فورية للمدخلات
- **تكرار**: عمليات دفعة لتفريغ الخرائط

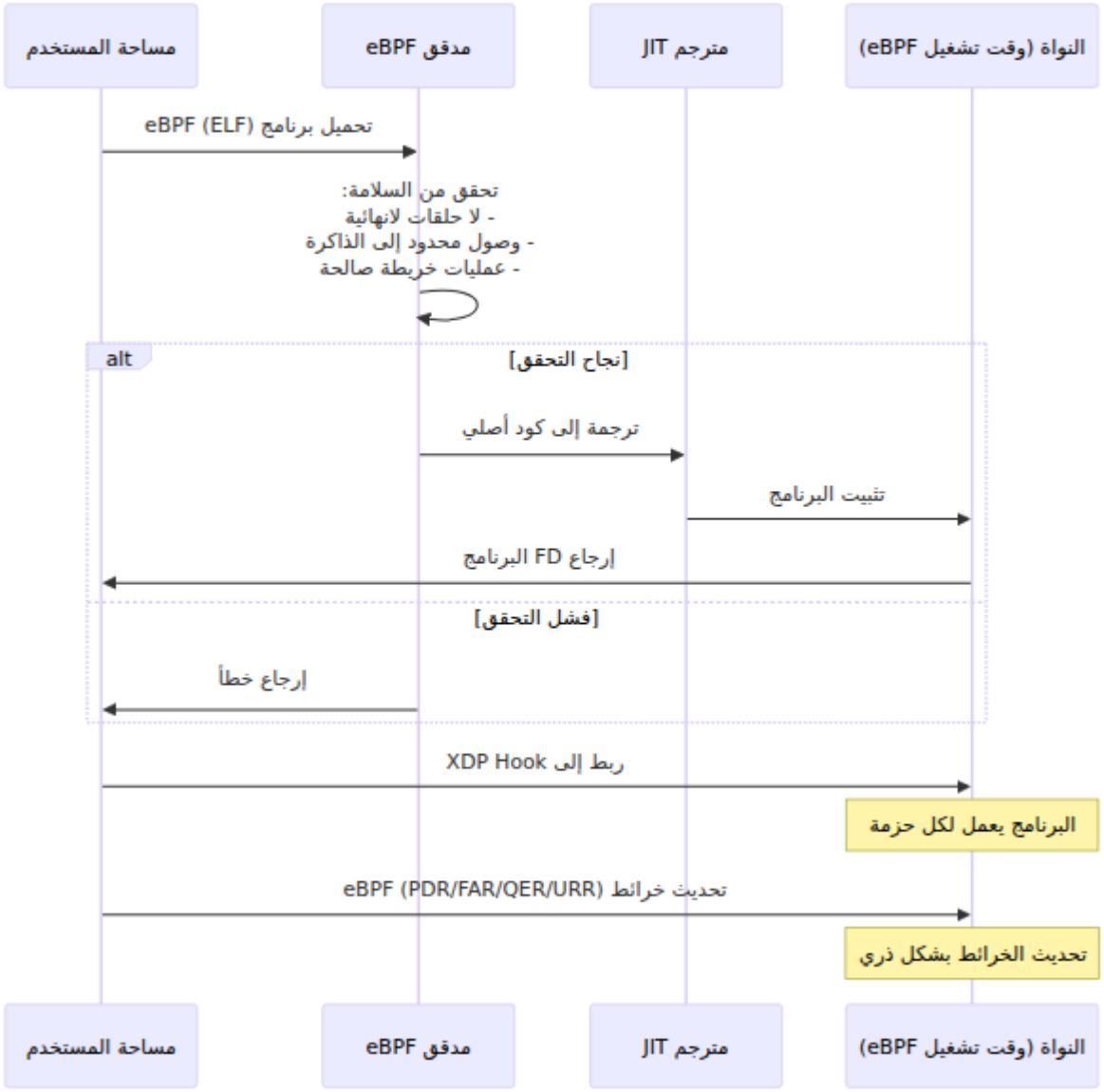
مسار بيانات XDP

نظرة عامة على XDP

XDP (مسار البيانات السريع) هو خطاف في نواة Linux يسمح لبرامج eBPF بمعالجة الحزم في أقرب نقطة ممكنة - مباشرة بعد استلامها بواسطة برنامج تشغيل الشبكة، قبل كومة الشبكة في النواة.

أوضاع ربط XDP

تدعم OmniUPF ثلاثة أوضاع ربط XDP، كل منها له خصائص أداء وتوافق مختلفة.



1. وضع تحميل XDP

(أفضل أداء) **تنفيذ الأجهزة**:

- يعمل برنامج eBPF مباشرة على أجهزة SmartNIC
- معالجة الحزم في NIC دون لمس وحدة المعالجة المركزية
- يحقق إنتاجية تزيد عن 100 جيجابت في الثانية
- يتطلب SmartNIC متوافق (Netronome، Mellanox ConnectX-6)

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "offload"
```

القيود:

- يتطلب أجهزة SmartNIC باهظة الثمن
- تعقيد برنامج eBPF محدود
- ليست جميع ميزات eBPF مدعومة في الأجهزة

---

2. وضع XDP (الافتراضي للإنتاج) الأصلي

تنفيذ مستوى السائق (أداء عالي):

- يعمل برنامج eBPF في سياق برنامج تشغيل الشبكة
- تتم معالجة الحزم قبل تخصيص SKB (مخزن المقبس)
- يحقق 10-40 جيجابت في الثانية لكل نواة
- يتطلب برنامج تشغيل يدعم XDP (معظم برامج التشغيل الحديثة)

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "native"
```

المزايا:

- أداء عالي جدًا (ملايين الحزم في الثانية)
- توافق واسع مع الأجهزة
- مجموعة كاملة من ميزات eBPF

برامج التشغيل المدعومة:

- Intel: i40e، ice، ixgbe، igb
- Mellanox: mlx4، mlx5
- Broadcom: bnxt
- Amazon: ena
- معظم بطاقات الشبكة 10G+

---

3. وضع XDP العام

(توافق) **محاكاة برمجية**:

- يعمل برنامج eBPF لـ SKB بعد تخصيص النواة
- محاكاة برمجية لسلوك XDP
- يعمل على أي واجه�ة شبكة
- مفيد للاختبار والتطوير

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "generic"
```

حالات الاستخدام:

- التطوير والاختبار
- البيئات الافتراضية (بدون SR-IOV الآلات الافتراضية)
- الأجهزة الشبكية القديمة
- اختبار واجهة الحلقة

الأداء: 1-5 جيجابت في الثانية (أبطأ بكثير من الأصلي/التحميل)

رموز إرجاع XDP

ترجع برامج eBPF رموز إجراءات XDP لإخبار النواة بما يجب فعله بالحزم:

رمز الإرجاع	المعنى	الاستخدام في OmniUPF
`XDP_PASS`	إرسال الحزمة إلى كومة الشبكة في النواة	التخزين المؤقت (تسليم محلي)، ICMP، حركة المرور غير المعروفة
`XDP_DROP`	إسقاط الحزمة على الفور	حزم غير صالحة، تحديد المعدل، إسقاطات السياسة
`XDP_TX`	إرسال الحزمة مرة أخرى عبر نفس الواجهة	غير مستخدم حاليًا
`XDP_REDIRECT`	إرسال الحزمة إلى واجهة مختلفة	مسار التوجيه الرئيسي (N3 ↔ N6)
`XDP_ABORTED`	خطأ في المعالجة، إسقاط الحزمة وتسجيلها	أخطاء برنامج eBPF

خط معالجة الحزم

هيكل البرنامج

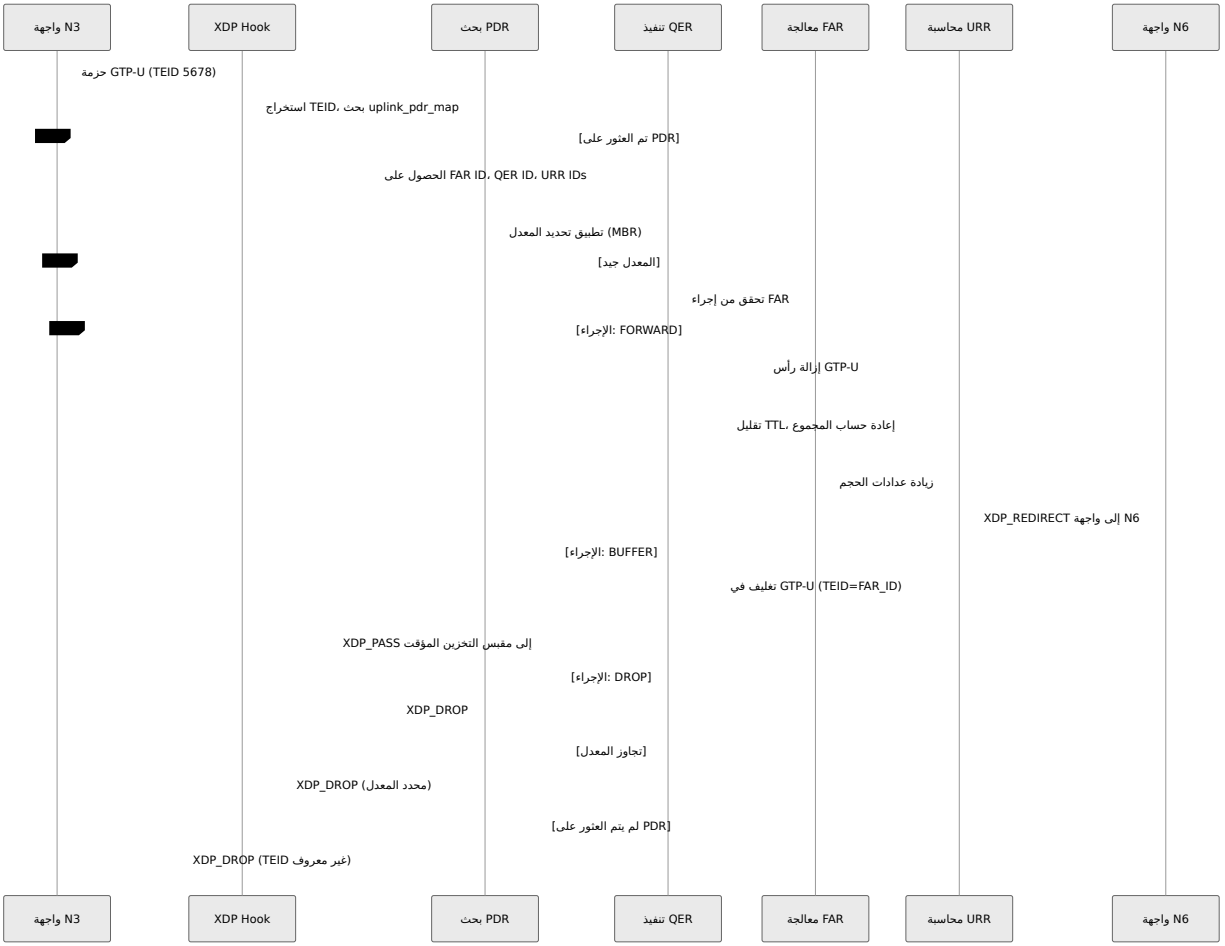
تستخدم OmniUPF استدعاءات ذيل eBPF لإنشاء خط معالجة حزم معياري.



استدعاءات الذيل:

- تسمح برامج eBPF باستدعاء برامج eBPF أخرى
- تعيد استخدام نفس إطار المكدس (عمق مكدس محدود)
- تمكّن تصميم خط أنابيب معياري
- الحد الأقصى لعمق استدعاء الذيل هو 33

معالجة الحزم الصاعدة

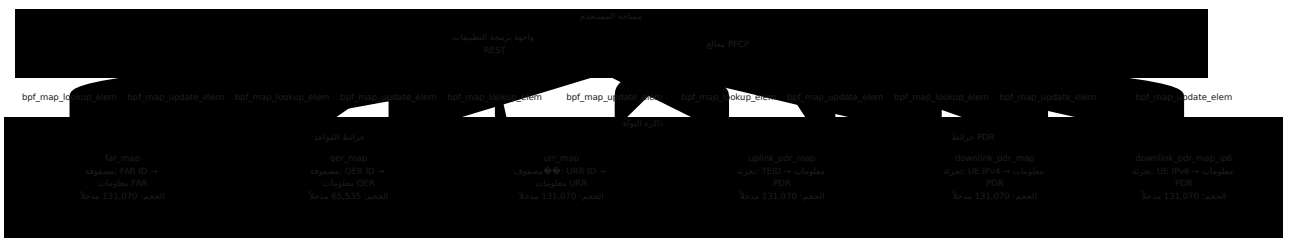


معالجة الحزم النازلة



معمارية خريطة eBPF

تخطيط ذاكرة الخريطة



حجم الخريطة

تحسب OmniUPF تلقائيًا أحجام الخرائط بناءً على تكوين `max_sessions`:

```
خرائط PDR = 2 × max_sessions  (صاعدة + نازلة)
خرائط FAR = 2 × max_sessions  (صاعدة + نازلة)
خرائط QER = 1 × max_sessions  (مشاركة لكل جلسة)
خرائط URR = 3 × max_sessions  (عدة URRs لكل جلسة)
```

مثال (max_sessions = 65,535):

- خرائط PDR: 131,070 مدخلاً لكل منها
- خريطة FAR: 131,070 مدخلاً
- خريطة QER: 65,535 مدخلاً
- خريطة URR: 131,070 مدخلاً

إجمالي الذاكرة:

```
خرائط PDR: 3 × 131,070 × 212 بايت ≈ 83 ميغابايت
خريطة FAR:  131,070 × 20 بايت ≈ 2.6 ميغابايت
خريطة QER:  65,535 × 36 بايت ≈ 2.3 ميغابايت
خريطة URR:  131,070 × 20 بايت ≈ 2.6 ميغابايت
الإجمالي: ≈91 ميغابايت من ذاكرة النواة
```

آلية التخزين المؤقت

نظرة عامة على التخزين المؤقت

تنفذ OmniUPF تخزين الحزم في سيناريوهات التحويل عن طريق تغليف الحزم في GTP-U وإرسالها إلى عملية مساحة المستخدم عبر مقبس UDP.

معمارية التخزين المؤقت

Parse error on line 4: ...r/>2. إضافة رأس UDP (22152 المنفذ)
3 ----------
------^ Expecting 'SQE', 'DOUBLECIRCLEEND', 'PE', '-)', 'STADIUMEND',

'SUBROUTINEEND', 'PIPE', 'CYLINDEREND', 'DIAMOND_STOP', 'TAGEND', 'TRAPEND', 'INVTRAPEND', 'UNICODE_TEXT', 'TEXT', 'TAGSTART', got 'PS'

المحاولة مجددا

تفاصيل تغليف التخزين المؤقت

يقوم برنامج eBPF، عندما يتم تمكين التخزين المؤقت (تم تعيين بت إجراء FAR 2):

1. **حساب حجم الحزمة الأصلية**:

```
orig_packet_len = ntohs(ip->tot_len);  // من رأس IP
```

2. **توسيع رأس الحزمة**:

```
// إضافة مساحة لرأس IP الخارجي + UDP + GTP-U
gtp_encap_size = sizeof(struct iphdr) + sizeof(struct
udphdr) + sizeof(struct gtpuhdr);
bpf_xdp_adjust_head(ctx, -gtp_encap_size);
```

3. **بناء رأس IP الخارجي**:

```
ip->saddr = original_sender_ip;  // الحفاظ على المصدر لتجنب
تصفية مارتين
ip->daddr = local_upf_ip;        // IP المحلي حيث يرتبط مستمع
مساحة المستخدم
ip->protocol = IPPROTO_UDP;
ip->ttl = 64;
```

4. **بناء رأس UDP**:

```
udp->source = htons(22152);  // BUFFER_UDP_PORT
udp->dest = htons(22152);
udp->len = htons(sizeof(udphdr) + sizeof(gtpuhdr) +
orig_packet_len);
```

5. **بناء رأس GTP-U**:

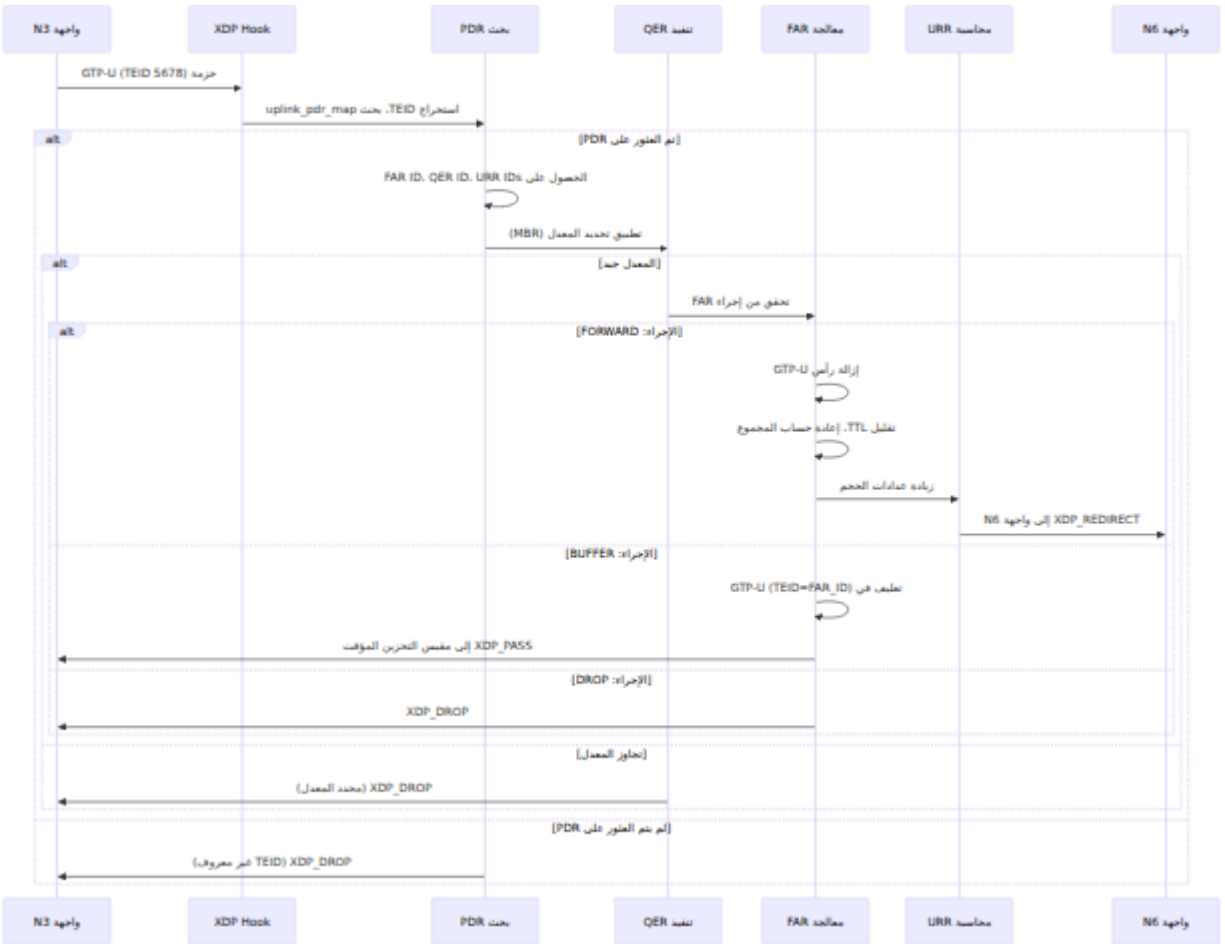
```
gtp->version = 1;
gtp->message_type = GTPU_G_PDU;
gtp->teid = htonl(far_id | (direction << 24));  // ترميز FAR ID والاتجاه
gtp->message_length = htons(orig_packet_len);
```

6. **إرجاع XDP_PASS**:

   - تسلم النواة الحزمة إلى مقبس UDP 22152 المحلي على المنفذ
   - يتلقى مدير التخزين المؤقت في مساحة المستخدم الحزمة ويخزنها

عملية تفريغ التخزين المؤقت

يتم إعادة تشغيل الحزم المخزنة. BUFFER لمسح علامة FAR بتحديث SMF عند اكتمال التحويل، يقوم:



معلمات إدارة التخزين المؤقت

المعلمة	الافتراضي	الوصف
الحد الأقصى لكل FAR	10,000 حزمة	الحد الأقصى للحزم المخزنة لكل FAR
الحد الأقصى الكلي	100,000 حزمة	الحد الأقصى للحزم المخزنة الكلية
TTL للحزمة	30 ثانية	الوقت قبل انتهاء صلاحية الحزم المخزنة
منفذ التخزين المؤقت	22152	منفذ UDP لتسليم التخزين المؤقت
فترة تنظيف التخزين المؤقت	60 ثانية	مدى تكرار التحقق من الحزم المنتهية

تنفيذ QoS

خوارزمية تحديد المعدل

تنفذ OmniUPF لتطبيق **محدد معدل نافذة منزلقة** QoS.

Parse error on line 5: ...= packet_size × 8 × (NSEC_PER_SEC / rate ----------^ Expecting 'SQE', 'DOUBLECIRCLEEND', 'PE', '-)', 'STADIUMEND', 'SUBROUTINEEND', 'PIPE', 'CYLINDEREND', 'DIAMOND_STOP', 'TAGEND', 'TRAPEND', 'INVTRAPEND', 'UNICODE_TEXT', 'TEXT', 'TAGSTART', got 'PS'

المحاولة مجددا

تنفيذ النافذة المنزلقة

الخوارزمية (من `qer.h`):

```c
static __always_inline enum xdp_action limit_rate_sliding_window(
    const __u64 packet_size,
    volatile __u64 *window_start,
    const __u64 rate)
{
    static const __u64 NSEC_PER_SEC = 1000000000ULL;
    static const __u64 window_size = 5000000ULL;  // نافذة 5 مللي ثانية

    // المعدل = 0 يعني غير محدود
    if (rate == 0)
        return XDP_PASS;

    // حساب وقت الإرسال لهذه الحزمة
    __u64 tx_time = packet_size * 8 * (NSEC_PER_SEC / rate);
    __u64 now = bpf_ktime_get_ns();

    // تحقق مما إذا كنا متقدمين على النافذة (سترسل الحزمة في المستقبل)
    __u64 start = *window_start;
    if (start + tx_time > now)
        return XDP_DROP;  // تجاوز حد المعدل

    // إذا مرت النافذة، أعد تعيينها
    if (start + window_size < now) {
        *window_start = now - window_size + tx_time;
        return XDP_PASS;
    }

    // تحديث النافذة لتشمل هذه الحزمة
    *window_start = start + tx_time;
    return XDP_PASS;
}
```

المعلمات الرئيسية:

- **حجم النافذة**: 5 مللي ثانية (5,000,000 نانوثانية)
- **لكل اتجاه**: نوافذ منفصلة للصاعدة والنازلة
- **تحديثات ذرية**: تستخدم مؤشرات متقلبة للوصول المتزامن
- **MBR = 0**: تعتبر عرض نطاق غير محدود

مثال حساب QoS

السيناريو: MBR = 100 ميغابت في الثانية، حجم الحزمة = 1500 بايت

1. **وقت الإرسال**:

```
tx_time = 1500 بايت × 8 بت/بايت × (1,000,000,000 نانوثانية/ثانية ÷ 100,000,000 بت في الثانية)
tx_time = 1500 × 8 × 10 = 120,000 نانوثانية = 120 ميكروثانية
```

2. **تحقق من المعدل**:

   - يمكن إرسال الحزمة التالية عند `t=0`، إذا تم إرسال الحزمة الأخيرة عند `t=120µs`
   - يتم إسقاطها (مبكر جدًا) إذا وصلت الحزمة عند `t=100µs`،
   - يتم إرسالها (تمت ترقية النافذة) إذا وصلت الحزمة عند `t=150µs`،

3. **أقصى معدل حزم**:

```
Max PPS = (100 ميغابت في الثانية ÷ 8) ÷ 1500 بايت = 8,333 حزمة في الثانية
الفجوة بين الحزم = 120 ميكروثانية
```

خصائص الأداء

الإنتاجية

التكوين	الإنتاجية	الحزم في الثانية	زمن الاستجابة
تحميل XDP (SmartNIC)	100 جيجابت في الثانية	148 مليون حزمة في الثانية	< 1 ميكروثانية
XDP الأصلي (10G NIC، نواة واحدة)	10 جيجابت في الثانية	8 مليون حزمة في الثانية	2-5 ميكروثانية
XDP الأصلي (10G NIC، 4 نوى)	40 جيجابت في الثانية	32 مليون حزمة في الثانية	2-5 ميكروثانية
XDP الوضع العام	1-5 جيجابت في الثانية	0.8-4 مليون حزمة في الثانية	50-100 ميكروثانية

تحليل زمن الاستجابة

إجمالي زمن معالجة الحزمة (XDP الأصلي):

المرحلة	زمن الاستجابة	التراكمي
NIC RX	0.5 ميكروثانية	0.5 ميكروثانية
استدعاء XDP Hook	0.1 ميكروثانية	0.6 ميكروثانية
بحث PDR (تجزئة)	0.3 ميكروثانية	0.9 ميكروثانية
تحقق من معدل QER	0.1 ميكروثانية	1.0 ميكروثانية
معالجة FAR	0.5 ميكروثانية	1.5 ميكروثانية
تحديث URR	0.2 ميكروثانية	1.7 ميكروثانية
تغليف/فك تغليف GTP-U	0.8 ميكروثانية	2.5 ميكروثانية
XDP_REDIRECT	0.5 ميكروثانية	3.0 ميكروثانية
NIC TX	0.5 ميكروثانية	3.5 ميكروثانية

(XDP 10 الأصلي، IG NIC) **الإجمالي**: ~3.5 ميكروثانية لكل حزمة

استخدام وحدة المعالجة المركزية

قدرة المعالجة لكل نواة:

- نواة واحدة: 8-10 مليون حزمة في الثانية (XDP الأصلي)
- مع تمكين الخيوط المتوازية: 12-15 مليون حزمة في الثانية
- توسيع النوى المتعددة: تقريبًا خطي حتى 8 نوى

استخدام وحدة المعالجة المركزية حسب معدل الحزم:

```
نسبة استخدام وحدة المعالجة المركزية ≈ (معدل الحزم / 10,000,000) × 100% لكل نواة
```

مثال: حركة مرور 2 مليون حزمة في الثانية تستخدم ~20% من نواة واحدة

عرض النطاق الترددي للذاكرة

الوصول إلى خريطة eBPF:

- بحث التجزئة: ~100 نانوثانية (ضربة ذاكرة مؤقتة)
- بحث التجزئة: ~300 نانوثانية (فقدان ذاكرة مؤقتة)
- بحث المصفوفة: ~50 نانوثانية (دائمًا ضربة ذاكرة مؤقتة)

عرض النطاق الترددي المطلوب للذاكرة:

```
عرض النطاق الترددي = معدل الحزم × (حجم الحزمة المتوسطة + عمليات البحث في الخرائط × 64 بايت)
```

مثال: حركة مرور 10 مليون حزمة في الثانية × (1500 بايت + 3 عمليات بحث × 64 بايت) ≈ 160 جيجابت في الثانية من عرض النطاق الترددي للذاكرة

قابلية التوسع والضبط

التوسع الأفقي

عدة حالات UPF:

Setting SMF as parent of SMF would create a cycle

المحاولة مجددا

توزيع الجلسات:

- يقوم SMF بتوزيع الجلسات عبر حالات UPF
- تتعامل كل UPF مع مجموعة فرعية من جلسات UE
- لا حاجة للتواصل بين UPF (بدون حالة)

التوسع الرأسي

ضبط وحدة المعالجة المركزية:

1. تمكين ارتباط وحدة المعالجة المركزية لمعالجة XDP

2. استخدام RSS (توزيع جانب الاستقبال) لتوزيع قوائم RX
3. تثبيت برامج eBPF على نوى محددة

ضبط NIC:

1. زيادة حجم مخزن RX
2. تمكين NICs متعددة القوائم (RSS)
3. استخدام موجه التدفق لتوجيه الحركة

ضبط النواة:

```
# زيادة حد الذاكرة المقفلة لخرائط eBPF
ulimit -l unlimited

# تعطيل توازن IRQ للنوى XDP
systemctl stop irqbalance

# تعيين حاكم وحدة المعالجة المركزية إلى الأداء
cpupower frequency-set -g performance

# زيادة أحجام المخازن الشبكية
sysctl -w net.core.rmem_max=134217728
sysctl -w net.core.wmem_max=134217728
```

تخطيط السعة

الصيغة:

```
عدد النوى المطلوبة = (معدل PPS 10,000,000 ÷ المتوقع) × %50)  1.5
(احتياطي
الذاكرة المطلوبة = (الحد الأقصى للجلسات × 212 ب × 3) + 100 ميغابايت
(النفقات العامة + eBPF خرائط)
الشبكة المطلوبة = (ذروة الإنتاجية × 2) + 10 جيجابت في الثانية
(احتياطي)
```

مثال (1 مليون جلسة، 20 جيجابت ذروة):

- وحدة المعالجة المركزية: (20 جيجابت في الثانية ÷ 10 جيجابت لكل نواة) × 1.5 = 3-4 نوى

- الذاكرة: (1M × 212 3 × ب) + 750 ميغابايت ≈ 100 ميغابايت
- الشبكة: (20 جيجابت في الثانية × 2) + 10 جيجابت في الثانية = 50 جيجابت من الواجهات

الوثائق ذات الصلة

- **دليل عمليات UPF** - العمليات العامة لـ UPF والنشر
- **دليل إدارة القواعد** - تفاصيل PDR، FAR، QER، URR
- **دليل المراقبة** - مراقبة الأداء والإحصائيات
- **دليل عمليات واجهة الويب** - استخدام لوحة التحكم
- **دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها** - المشكلات الشائعة والتشخيصات
- **دليل الحديقة المسورة** BUFF - إعادة التوجيه عند نفاد الرصيد باستخدام آلية لاعتراض حزم مساحة المستخدم

دليل تكوين OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. أوضاع التشغيل
3. أوضاع إرفاق XDP
4. معلمات التكوين
5. ملف التكوين
6. توافق المحاكيات
7. توافق NIC
8. أمثلة على التكوين
9. تخطيط الحجم والسعة

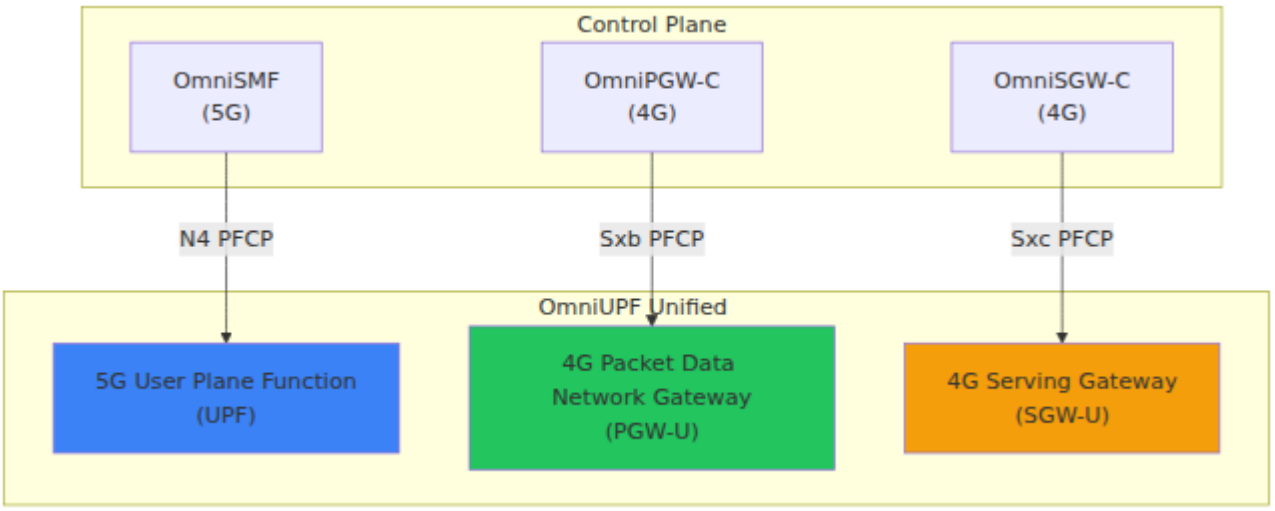
نظرة عامة

OmniUPF هو وظيفة طائرة مستخدم متعددة الاستخدامات يمكن أن تعمل في أوضاع متعددة الأساسية. Elixir/OTP، ويتم 4Gلدعم كل من شبكات 5G (EPC) و Elixir (`runtime.exs`). إدارة التكوين من خلال ملف تكوين

ويتم الحفاظ عليه `/etc/omniupf/runtime.exs` عند تثبيت الحزمة، يتم وضع ملف التكوين في بعد تغييرات ا��تكوين UPF عبر التحديثات. يجب إعادة تشغيل.

أوضاع التشغيل

OmniUPF يمكن أن تعمل في نفس الوقت كـ **منصة موحدة** هو:



تكوين الوضع

تحديد وضع التشغيل بواسطة خطة التحكم يتم (SMF، PGW-C، أو SGW-C) التي تنشئ ارتباطات PFCP مع OmniUPF. لا يتطلب الأمر تكوينًا محددًا لـ OmniUPF للتبديل بين الأوضاع.

التشغيل المتزامن:

- يمكن لـ OmniUPF قبول ارتباطات PFCP من عدة خطط تحكم في وقت واحد
- يمكن أن تعمل مثيل واحد من OmniUPF كـ UPF وPGW-U وSGW-U **في نفس الوقت**
- يتم عزل الجلسات من خطط التحكم المختلفة وإدارتها بشكل م��تقل

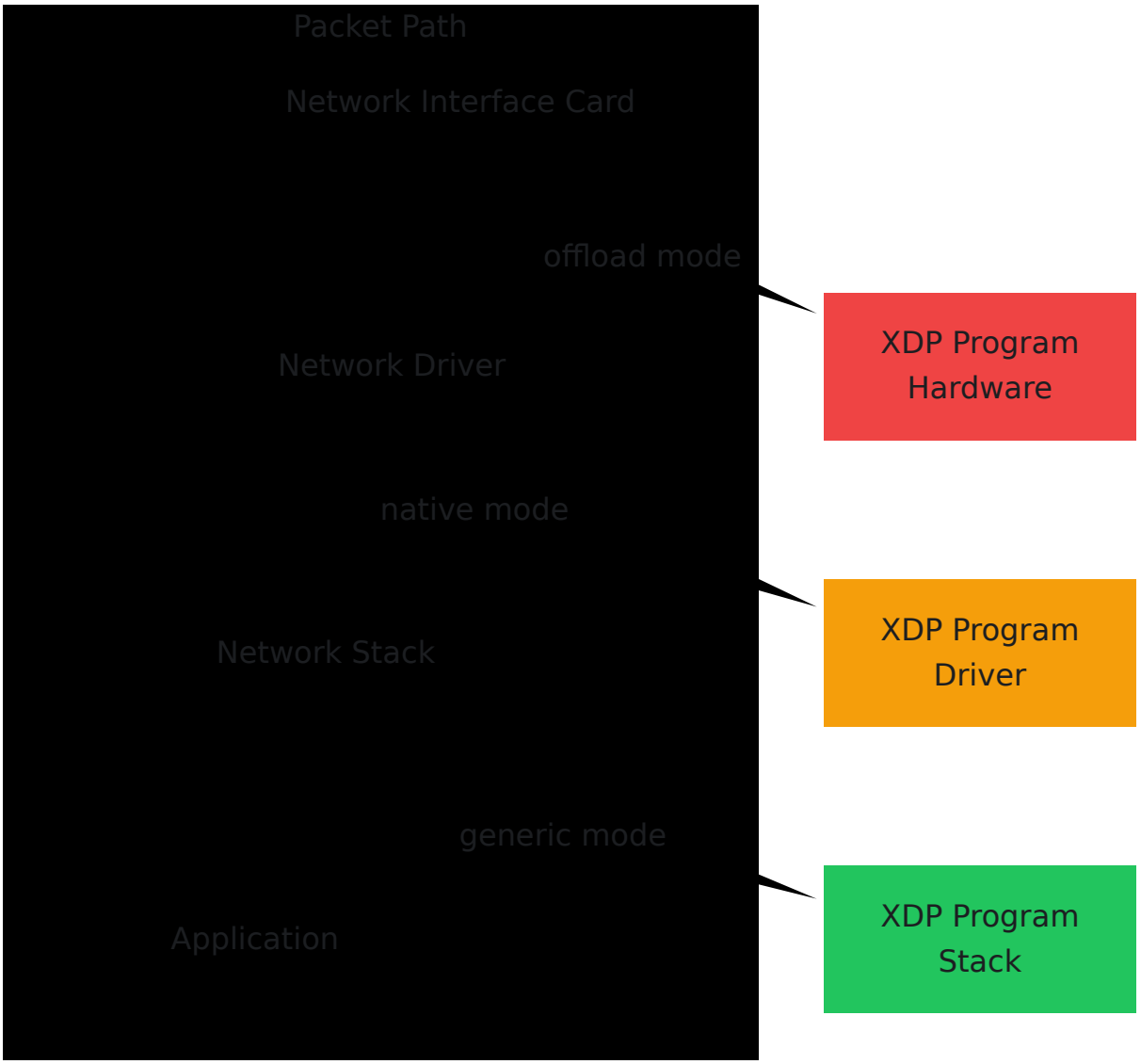
أوضاع إرفاق XDP

يستخدم OmniUPF XDP (مسار البيانات السريع) لمعالجة الحزم عالية الأداء. يتم دعم ثلاثة أوضاع إرفاق.

للحصول على تعليمات إعداد XDP التفصيلية، خاصة لـ Proxmox والمحاكيات الأخرى، راجع دليل أوضاع XDP.

مقارنة الأوضاع

الوضع	نقطة الإرفاق	الأداء	حالة الاستخدام	متطلبات NIC
عام	مكدس الشبكة (kernel)	~1-2 Mpps	اختبار، تطوير، توافق	أي NIC
محلي	برنامج تشغيل الشبكة (kernel)	~5-10 Mpps	إنتاج (معدن عاري، VM مع SR-IOV)	برنامج تشغيل يدعم XDP
إفراز	أجهزة NIC (SmartNIC)	~10-40 Mpps	إنتاج عالي الإنتاجية	SmartNIC مع إفراز XDP



الوضع العام (افتراضي)

الوصف: يعمل برنامج XDP في مكدس الشبكة في النواة

المزايا:

- يعمل مع **أي** واجهة شبكة
- لا متطلبات خاصة للبرنامج أو الأجهزة
- مثالي للاختبار والتطوير
- متوافق مع جميع المحاكيات ومنصات الافتراضية

العيوب:

- أداء أقل (~1-2 Mpps لكل نواة)
- الحزم التي مرت بالفعل عبر البرنامج قبل معالجة XDP

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "generic"
```

الأفضل لـ:

- الآلات الافتراضية بدون SR-IOV
- بيئات الاختبار والتحقق
- NICs بدون دعم برنامج تشغيل XDP
- المحاكيات مثل VirtualBox وVMware وProxmox

الوضع المحلي (موصى به)

الوصف: يعمل برنامج XDP على مستوى برنامج تشغيل الشبكة

المزايا:

- أداء عالي (~5-10 Mpps لكل نواة)
- معالجة الحزم قبل دخولها إلى مكدس الشبكة
- زمن استجابة أقل بكثير من الوضع العام

- يعمل على المعدن العاري و VMs مع SR-IOV

العيوب:

- يتطلب برنامج تشغيل شبكة يدعم XDP
- ليست جميع NICs/برامج التشغيل تدعم XDP المحلي

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "native"
```

الأفضل لـ:

- نشرات الإنتاج على المعدن العاري
- VMs مع تمرير SR-IOV
- NICs مع برامج تشغيل تدعم XDP (Intel، Mellanox، إلخ.)

المتطلبات:

- برنامج تشغيل شبكة يدعم XDP (انظر توافق NIC)
- مفعل XDP نواة لينكس 5.15+ مع دعم

وضع الإفراز (أقصى أداء)

الوصف: يعمل برنامج XDP مباشرة على أجهزة SmartNIC

المزايا:

- أقصى أداء (~10-40 Mpps)
- صفر عبء على وحدة المعالجة المركزية لمعالجة الحزم
- زمن استجابة أقل من ميكروثانية
- يحرر وحدة المعالجة المركزية لمعالجة خطة التحكم

العيوب:

- يتطلب أجهزة SmartNIC باهظة الثمن
- توفر محدود لأجهزة SmartNIC

- إعداد وتكوين معقد

التكوين (في `runtime.exs`):

```
xdp_attach_mode = "offload"
```

الأفضل لـ:

- نشرات إنتاج عالية الإنتاجية للغاية
- الحوسبة الطرفية مع متطلبات زمن استجابة صارمة
- البيئات التي تكون فيها موارد وحدة المعالجة المركزية محدودة

المتطلبات:

- SmartNIC مع دعم إفراز XDP (Netronome Agilio CX، Mellanox BlueField)
- برامج ثابتة وبرامج تشغيل متخصصة

معلمات التكوين

واجهات الشبكة

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`xdp_interfaces`	واجهات الشبكة لحركة مرور N3/N6/N9 (مفصولة بفواصل، أو `"auto"` لجميع غير حلقة العودة)	سلسلة	`"auto"`
`gtpu_interface`	NIC تحمل جميع GTP-U (N3/N9/S5-S8). تعيينها مع `sgi_interface` لإرفاق برنامج XDP خاص بـ GTP-U فقط إلى هذه NIC؛ اتركها غير محددة للبرنامج المدمج	سلسلة	`nil`
`sgi_interface`	NIC تحمل SGi/N6 IP عادي. تعيينها مع `gtpu_interface` لإرفاق برنامج XDP خ��ص بالأ��فل فقط إلى هذه NIC	سلسلة	`nil`
`n3_address`	عنوان IPv4 لواجهة N3 (GTP-U من RAN)	IP	`"127.0.0.1"`
`n9_address`	عنوان IPv4 لواجهة N9 (UPF إلى UPF لـ ULCL)	IP	نفس `n3_address`

مثال (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "eth0,eth1"
n3_address = "10.100.50.233"
n9_address = "10.100.50.234"
```

تقسيم مسار البيانات لكل NIC. عندما تحمل GTP-U وSGi NICs منفصلة، قم بتسمية كل NIC (GTP-U فقط على ذو غرض واحد لكل XDP منها بحيث يقوم المحمل بإرفاق برنامج

بدلاً من البرنامج المدمج "على عصا". (`sgi_interface`) أسفل فقط على ، `gtpu_interface` اترك كلاهما غير محددين (الافتراضي) لإرفاق . `xdp_interfaces` يجب أن تظهر كلاهما أيضًا في البرنامج المدمج بكل واجهة.

```
xdp_interfaces = "eth1,eth2"
gtpu_interface = "eth1"   # جميع GTP-U (N3/N9/S5-S8)
sgi_interface  = "eth2"   # SGi/N6 IP عادي
```

تكوين PFCP

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`pfcp_address`	العنوان المحلي لخادم PFCP (واجهة N4/Sxb/Sxc)	سلسلة IP	`"127.0.0.1"`
`pfcp_port`	منفذ PFCP	عدد صحيح	`8805`
`node_id`	معرف العقدة المحلي لبروتوكول PFCP	سلسلة IP	`"127.0.0.1"`
`heartbeat_interval_ms`	فترة نبض القلب لـ PFCP (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`5000`
`heartbeat_timeout_ms`	مهلة نبض القلب لـ PFCP (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`5000`
`heartbeat_retries`	عدد محاولات نبض القلب قبل إعلان نظير ميت	عدد صحيح	`3`
`association_setup_timeout`	المهلة في انتظار استجابة إعداد ارتباط PFCP عندما يبدأ UPF ارتباطًا (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`5000`
`pfcp_remote_nodes`	قائمة بعناوين IP الخاصة بخطط التحكم التي يقوم UPF بإعداد ارتباطات معها بنشاط عند بدء التشغيل (مبادرة)	قائمة من السلاسل	`[]`

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
	تعني القائمة .(UPF يقبل UPF الفارغة أن فقط الارتباطات التي تبدأها خطة التحكم.		

مثال (في `runtime.exs`):

```
pfcp_address = "10.100.50.241"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.100.50.241"
heartbeat_interval_ms = 10_000
heartbeat_retries = 5
association_setup_timeout = 5_000
pfcp_remote_nodes = []                # أو على سبيل المثال
["10.100.50.22" ,"10.100.50.20"]
```

API والمراقبة

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`api_port`	المنفذ المحلي لخادم REST API (Phoenix)	عدد صحيح	`8080`
`log_level`	مستوى السجل (`:debug`, `:info`, `:warning`, `:error`)	ذرة	`:info`

مثال (في `runtime.exs`):

```
api_port = 8080
log_level = :debug
```

إدارة مسار GTP

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`gtpu_port`	منفذ GTP-U	عدد صحيح	`2152`
`gtp_echo_interval`	فترة الصدى الافتراضية بالثواني	عدد صحيح	`10`
`gtp_echo_retries`	الحد الأقصى من الصدى المفقود قبل فشل المسار	عدد صحيح	`3`
`gtp_peers`	قائمة من نظراء GTP لطلبات صدى الحفاظ على الاتصال	قائمة	`[]`

مثال (في `runtime.exs`):

```
gtp_echo_interval = 15
gtp_echo_retries = 3
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.50"), echo: true, echo_interval:
10},
  %{address: parse_ip.("10.100.50.60"), echo: false},
]
```

كبير الحجم في الاتجاه السفلي GTP-U

يضيف GTP-U 36 بايت إلى كل حزمة في الاتجاه السفلي. وبالتالي، تصبح حزمة كاملة بحجم 1500 بايت من الإنترنت حزمة GTP-U بحجم 1536 بايت، مما لا يتناسب مع رابط N3 ويتجاهل، (TS 29.281 §4.2.4) تقسيم مثل هذه الحزم GTP-U بايت. يُطلب من مرسل الرابط المعروض في MTU والموجهات UE العديد من PCO، لذا يحدث ذلك في التشغيل العادي.

في الاتجاه السفلي أكبر من GTP-U السريع تقسيم الحزم. عندما تكون حزمة XDP لا يمكن لمسار عادي UDP الخروج، يتم تسليمها إلى مسار المستخدم البطيء، الذي يرسلها من مقبس MTU بالتغليف UPF بحيث يقوم النواة بتقسيم الحزمة الخارجية. ينطبق هذا عند قيام (N3 إلى N6) وعندما يقوم بإعادة توجيه بين أنفاق GTP-U (SGW-U).

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`gtpu_oversize_punt_enabled`	`true`: يتم إرسال GTP-U الكبير في الاتجاه السفلي إلى مساحة ال��ستخدم ويتم تقسيمه. `false`: يتم إسقاطه	منطقي	لا شيء، **مطلوب**

بدونها. كل حزمة تم تحويلها تترك المسار السريع، لذا فإن المشترك UPF المعلمة مطلوبة: لن يبدأ على سبيل المثال، تنزيل) نفق أصغر MTU الذي يرسل حركة مرور كاملة الحجم مستمرة عبر ينقل تلك الحمولة إلى مساحة المستخدم. راقب (MTU PCO ضخم إلى جهاز يتجاهل `upf_gtpu_oversize_punted_total` (انظر METRICS.md) واضبط المعلمة على `false` لتخفيف الحمولة، على حساب إسقاط تلك الحزم.

مثال (في `runtime.exs`):

```
gtpu_oversize_punt_enabled = true
```

بواسطة النواة وإعادة حقنها في مسار RAN المجزأة المستلمة من GTP-U تتم إعادة تجميع البيانات. لا يحتاج ذلك إلى تكوين.

تقليم TCP MSS

بحجم 1460 بايت MSS يعلن عن (أو إعلان الموجه) PCO الرابط في MTU الجهاز الذي يتجاهل الخاصة به. ثم يرسل كلا الطرفين حزم بحجم 1500 بايت، وتذهب كل واحدة TCP في مصافحة في المصافحة على تلك MSS منها عبر المسار البطيء الكبير الحجم الموضح أعلاه. يحافظ تقليم الحركة على المسار السريع.

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`tcp_mss_clamp`	قد يعلن MSS TCP (IPv4) أكبر عنه هذا SYN-ACK أو SYN عبر يتم تقليل القيم الأكبر إلى UPF. قيمة أقل بـ IPv6 ذلك. يستخدم 20. `false` يترك MSS بدون تغيير	أو عدد `false` صحيح 536- 1460	لا شيء، **مطلوب**

واحدة أو اثنتين لكل اتصال؛ لا يتم لمس حزم البيانات. يتم تقليم ،SYN-ACKو SYN تتغير فقط حزم الخاص بالخادم SYN-ACK ويحدد ،UE ما يرسله الخادم إلى UE الخاص بـ SYN كلا الاتجاهين: يحدد بفك UPF بشكل تدريجي. ينطبق التقليم حيث يقوم checksum TCP يتم تحديث .UE ما يرسله البحتة SGW-U وليس على إعادة توجيه ،(PGW-U / UPF) التغليف أو تغليف حزمة المستخدم.

بحجم MTU ناقص 40 بايت: `1310` لـ PCO المعروض في IPv4 الرابط MTU قم بتعيينه إلى 1350.

مثال (في `runtime.exs`):

```
tcp_mss_clamp = 1310
```

النفق تأخذ المسار MTU وحركة المرور الأخرى الأكبر من UDP فقط. لا يزال TCP يغطي التقليم مصافحته UPF الذي لم يرَ TCP البطيء الكبير الحجم، وكذلك.

سعة خريطة eBPF

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`max_sessions`	الحد الأقصى لعدد الجلسات المتزامنة	عدد صحيح	`1_000_000`
`far_map_size`	حجم خريطة FAR eBPF	عدد صحيح	`131_070`
`qer_map_size`	حجم خريطة QER eBPF	عدد صحيح	`65_535`
`urr_map_size`	حجم خريطة URR eBPF	عدد صحيح	`65_535`

مثال (في `runtime.exs`):

```
max_sessions = 100_000
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
urr_map_size = 131_070
```

تكوين الذاكرة المؤقتة

يتم تخزين حزم الاتجاه السفلي أثناء عدم نشاط UE، ثم يتم تفريغها عندما يتم استدعاء UE. تحدد هذه المعلمات مقدار ما يتم الاحتفاظ به ومدة الاحتفاظ به.

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`buffer_port`	منفذ UDP للحزم المخزنة من ال eBPF	عدد صحيح	`22152`
`buffer_max_total`	الحد الأقصى من الحزم المخزنة عبر جميع FARs (حد عالمي)	عدد صحيح	`10_000`
`buffer_max_per_far`	الحد الأقصى من الحزم المخزنة لكل FAR	عدد صحيح	`100`
`buffer_ttl_ms`	الوقت الذي يتم فيه الاحتفاظ بحزمة مخزنة قبل إسقاطها (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`30_000`
`buffer_cleanup_interval_ms`	الفترة التي يتم فيها إزالة الحزم المخزنة المنتهية (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`5_000`

مثال (في `runtime.exs`):

```
buffer_port = 22152
buffer_max_total = 10_000
buffer_max_per_far = 100
buffer_ttl_ms = 30_000
buffer_cleanup_interval_ms = 5_000
```

تُعدّ الإخفاقات الناتجة عن هذه الحدود محسوبة بواسطة `upf_buffer_packets_dropped_total` (التسميات `global_limit`، `far_limit`، `expired`). انظر مرجع القياسات.

علامات الميزات

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`feature_ueip`	تمكين تخصيص IP لـ UE بواسطة OmniUPF	منطقي	`false`
`ueip_pool`	مجموعة IP لتخصيص IP لـ UE (يتطلب `feature_ueip`)	سلسلة CIDR	`"10.60.0.0/24"`
`feature_ftup`	تمكين تخصيص F-TEID بواسطة OmniUPF	منطقي	`true`
`teid_pool_start`	بداية نطاق تخصيص TEID	عدد صحيح	`1`
`teid_pool_end`	نهاية نطاق تخصيص TEID	عدد صحيح	`10_000_000`

مثال (تخصيص IP لـ UE) (في `runtime.exs`):

```
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"
```

مثال (تخصيص F-TEID) (في `runtime.exs`):

```
feature_ftup = true
teid_pool_start = 1
teid_pool_end = 1_000_000
```

تكوين مدير المسار

انظر دليل إدارة المسار للحصول على التفاصيل. لتزامن مسار UE مع خادم FRR (التوجيه الحر).

المعلمة	الوصف	النوع	ضي
`route_manager_enabled`	تمكين التزامن التلقائي لمسار UE	منطقي	`true`
`route_manager_type`	نوع خادم التوجيه (`"frr"` أو `"static"`)	سلسلة	`"frr"`
`route_manager_nexthop`	عنوان الخطوة التالية للطرق المدخلة لـ UE (فارغ = متصل مباشرة)	سلسلة	`""`
`route_manager_vtysh_path`	المسار إلى ثنائي FRR `vtysh` (يستخدم عندما يكون `route_manager_type` هو `"frr"`)	سلسلة	`"/usr/`
`route_manager_sync_interval_ms`	فترة التوفيق الكاملة بين الطرق المتعقبة وخادم التوجيه (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`600_00`
`route_batch_interval_ms`	نافذة التوقف لتجميع عمليات إضافة/إزالة الطرق المتزايدة (بالميلي ثانية)	عدد صحيح	`1_000`

مثال (في `runtime.exs`):

```
route_manager_enabled = true
route_manager_type = "frr"
route_manager_nexthop = ""
route_manager_vtysh_path = "/usr/bin/vtysh"
route_manager_sync_interval_ms = 600_000
route_batch_interval_ms = 1_000
```

متى يجب التمكين:

- تتطلب إعلان المسار UPF نشرات متعددة لـ
- التكامل مع بروتوكولات التوجيه OSPF أو BGP
- يتطلب تثبيت وتكوين خادم FRRouting

تكوين eBPF / XDP

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`xdp_interfaces`	قائمة مفصولة بفواصل من الواجهات لـ XDP، أو `"auto"` لجميع غير حلق�ة العودة	سلسلة	`"auto"`
`xdp_attach_mode`	وضع XDP: `"generic"`، `"native"`، أو `"offload"`	سلسلة	`"generic"`
`ebpf_pin_path`	مسار نظام ملفات BPF	سلسلة	`"/sys/fs/bpf/upf_pipeline"`
`xdp_obj_path`	المسار إلى كائن eBPF المترجم	سلسلة	`"/etc/omniupf/ipentrypoint_bpf`
`ebpf_backend`	واجهة خريطة مسار البيانات: `:nif` (NIF مباشر، افتراضي)، `:port` (عملية منفذ خارجية)، أو `:mock` (في الذاكرة،	ذرة	`:nif`

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
	للاختبارات بدون eBPF)		

مثال (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "auto"              # أو "eth0,eth1" لواجهات محددة
xdp_attach_mode = "native"
ebpf_pin_path = "/sys/fs/bpf/upf_pipeline"
xdp_obj_path = "/etc/omniupf/ipentrypoint_bpf.o"
ebpf_backend = :nif
```

ملف التكوين

ملف تكوين Elixir (runtime.exs)

الملف: `/etc/omniupf/runtime.exs`

يستخدم ملف التكوين بناء جملة Elixir مع تعيينات متغيرة بسيطة لسهولة القراءة. يتم تطبيق المتغيرات على تكوين التطبيق في أسفل الملف عبر `config :upf_ex, ...`.

```
import Config

parse_ip = fn str ->
  {:ok, addr} = :inet.parse_address(String.to_charlist(str))
  addr
end

#
============================================================================
# PFCP (N4/Sx) Configuration
#
============================================================================
pfcp_address = "10.100.50.241"       # IP address to listen for PFCP
pfcp_port = 8805                      # PFCP port (standard: 8805)
node_id = "10.100.50.241"            # Node ID advertised in Associat
Setup

#
============================================================================
# GTP-U Data Plane Configuration
#
============================================================================
n3_address = "10.100.50.233"         # N3 interface IP (GTP-U toward
n9_address = n3_address               # N9 interface IP (defaults to
gtpu_port = 2152                      # GTP-U port (standard: 2152)
buffer_port = 22152                   # Buffer listener port

#
============================================================================
# eBPF / XDP Configuration
#
============================================================================
xdp_interfaces = "auto"              # "auto" for all non-loopback, c
separated list
xdp_attach_mode = "native"           # XDP mode: "generic", "native",
"offload"
ebpf_pin_path = "/sys/fs/bpf/upf_pipeline"
xdp_obj_path = "/etc/omniupf/ipentrypoint_bpf.o"

#
============================================================================
# Session & Resource Pool Configuration
#
```

```
# ============================================================================
max_sessions = 100_000
teid_pool_start = 1
teid_pool_end = 10_000_000
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
urr_map_size = 65_535

# ============================================================================
# Feature Flags
# ============================================================================
feature_ueip = true
feature_ftup = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"

# ============================================================================
# Route Management
# ============================================================================
route_manager_enabled = true
route_manager_type = "frr"

# ============================================================================
# Heartbeat Configuration
# ============================================================================
heartbeat_interval_ms = 10_000
heartbeat_timeout_ms = 5_000
heartbeat_retries = 5

# ============================================================================
# GTP-U Peer Echo Monitoring
# ============================================================================
gtp_echo_interval = 10
gtp_echo_retries = 3
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.50"), echo: true, echo_interval: 10
]
```

```
#
# ============================================================================
# HTTP API and Logging
#
# ============================================================================
api_port = 8080
log_level = :info

#
# ============================================================================
# Apply Configuration (do not edit below this line)
#
# ============================================================================
config :upf_ex,
  pfcp_address: parse_ip.(pfcp_address),
  pfcp_port: pfcp_port,
  n3_address: parse_ip.(n3_address),
  n9_address: parse_ip.(n9_address),
  node_id: parse_ip.(node_id),
  api_port: api_port,
  ebpf_pin_path: ebpf_pin_path,
  xdp_obj_path: xdp_obj_path,
  interface_names: String.split(xdp_interfaces, ","),
  xdp_attach_mode: xdp_attach_mode,
  feature_ueip: feature_ueip,
  feature_ftup: feature_ftup,
  ueip_pool: ueip_pool,
  teid_pool_start: teid_pool_start,
  teid_pool_end: teid_pool_end,
  far_map_size: far_map_size,
  qer_map_size: qer_map_size,
  urr_map_size: urr_map_size,
  max_sessions: max_sessions,
  route_manager_enabled: route_manager_enabled,
  route_manager_type: route_manager_type,
  buffer_port: buffer_port,
  gtpu_port: gtpu_port,
  heartbeat_interval_ms: heartbeat_interval_ms,
  heartbeat_timeout_ms: heartbeat_timeout_ms,
  heartbeat_retries: heartbeat_retries,
  gtp_echo_interval: gtp_echo_interval,
  gtp_echo_retries: gtp_echo_retries,
  gtp_peers: gtp_peers
```

```
config :logger, level: log_level
```

إدارة الخدمة

```
# بدء UPF
sudo systemctl start omniupf

# إيقاف UPF
sudo systemctl stop omniupf

# إعادة التشغيل بعد تغييرات التكوين
sudo systemctl restart omniupf

# التحقق من الحالة
sudo systemctl status omniupf

# عرض السجلات
sudo journalctl -u omniupf -f

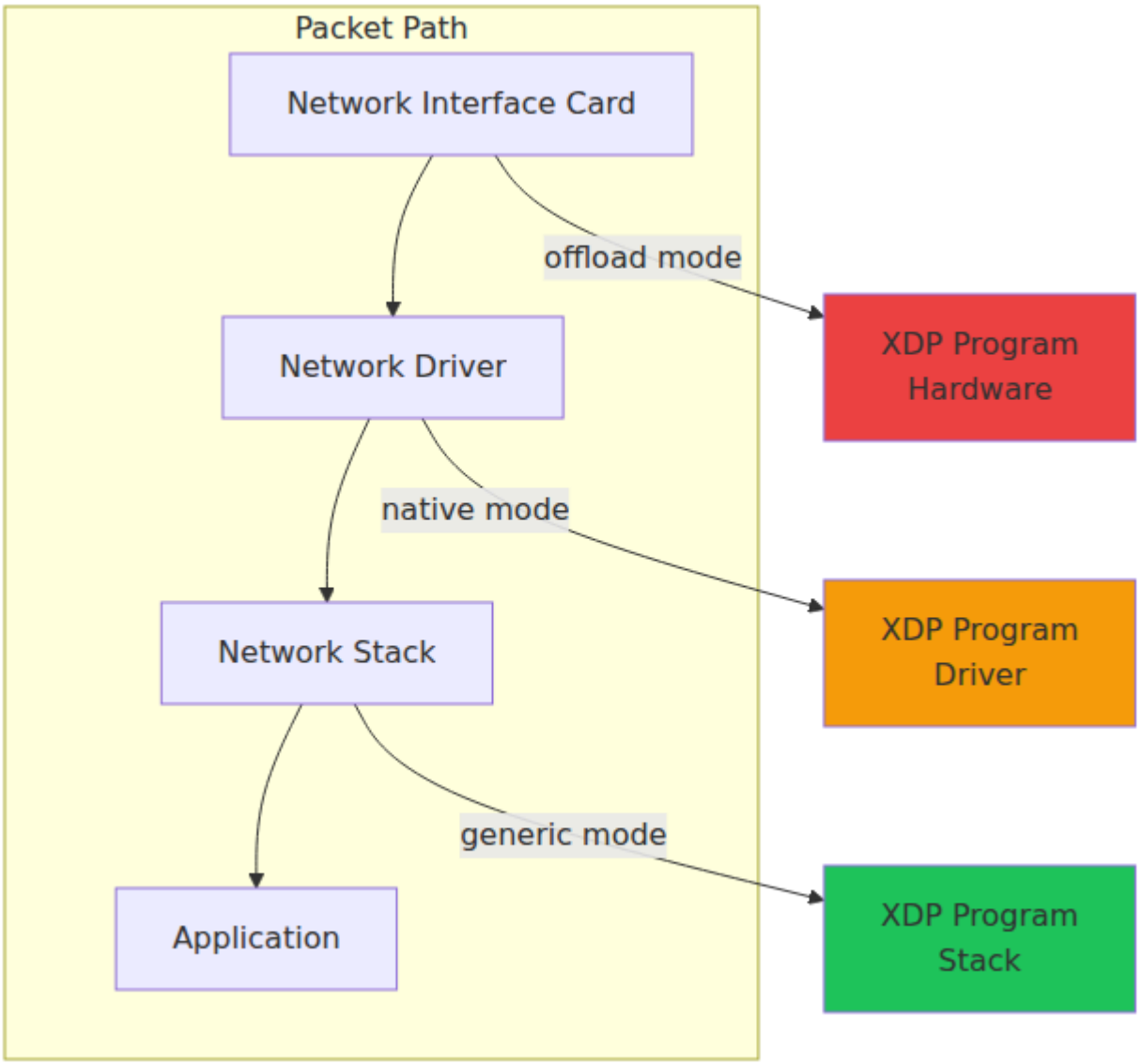
# أو استخدم البرنامج الثنائي مباشرة
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex start
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex stop
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex daemon   # بدء كخدمة في الخلفية
```

توافق المحاكيات

نظرة عامة

OmniUPF متوافق مع جميع المحاكيات الرئيسية ومنصات الافتراضية. تعتمد وضعية التوصيل XDP وتكوين الشبكة على قدرات الشبكة للمحاكي.

للحصول على تعليمات خطوة بخطوة حول تمكين XDP الأصلي على Proxmox ومحاكيات أخرى، راجع دليل أوضاع XDP.



Proxmox VE

التكوينات المدعومة:

1. وضع الجسر (XDP العام)

حالة الاستخدام: الشبكات القياسية للآلة الافتراضية

التكوين:

- جهاز الشبكة: VirtIO أو E1000
- وضع XDP: `generic`
- الأداء: ~1-2 Mpps

إعدادات آلة Proxmox الافتراضية:

```
جهاز الشبكة: net0
النموذج: VirtIO (مُحسّن)
الجسر: vmbr0
```

تكوين OmniUPF (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"
```

---

2. تمرير SR-IOV (XDP الأصلي)

حالة الاستخدام: الإنتاج عالي الأداء

التكوين:

- جهاز الشبكة: وظيفة افتراضية SR-IOV
- وضع XDP: `native`
- الأداء: ~5-10 Mpps

المتطلبات:

- NIC مادي مع دعم SR-IOV (Intel X710، Mellanox ConnectX-5)
- تمكين SR-IOV في BIOS
- تمكين IOMMU (`intel_iommu=on` أو `amd_iommu=on` في GRUB)

تمكين SR-IOV على Proxmox:

```
# تحرير تكوين GRUB
nano /etc/default/grub

# أضف إلى GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT:
intel_iommu=on iommu=pt

# تحديث GRUB وإعادة التشغيل
update-grub
reboot

# تمكين VFs على NIC (مثال: 4 وظائف افتراضية على eth0)
echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs

# جعلها دائمة
echo "echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs" >>
/etc/rc.local
chmod +x /etc/rc.local
```

إعدادات آلة Proxmox الافتراضية:

```
جهاز <- إضافة <- الأجهزة PCI
وظيفة افتراضية: اختر SR-IOV
جميع الوظائف: لا
الأساسي: لا GPU
PCI-Express: نعم (اختياري)
```

تكوين OmniUPF (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "ens1f0"    # اسم VF SR-IOV
xdp_attach_mode = "native"
```

---

3. تمرير PCI (XDP الأصلي)

حالة الاستخدام: NIC مخصص لآلة افتراضية واحدة

التكوين:

- تمرير NIC مادي بالكامل إلى الآلة الافتراضية

- وضع XDP: `native` أو `offload` (إذا كان SmartNIC)
- الأداء: ~40-5 Mpps (يعتمد على NIC)

إعدادات آلة Proxmox الافتراضية:

```
جهاز <- إضافة <- الأجهزة PCI
اختر: NIC (0000:01:00.0 ،المثال سبيل على) مادي
جميع الوظائف: نعم
الأساسي: لا GPU
PCI-Express: نعم
```

تكوين OmniUPF (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "ens1f0"
xdp_attach_mode = "native"    # أو "offload" لـ SmartNIC
```

KVM/QEMU

وضع الجسر:

```
virt-install \
  --name omniupf \
  --network bridge=br0,model=virtio \
  --disk path=/var/lib/libvirt/images/omniupf.qcow2 \
  ...
```

تمرير SR-IOV:

```
<interface type='hostdev' managed='yes'>
  <source>
    <address type='pci' domain='0x0000' bus='0x01' slot='0x10'
function='0x1'/>
  </source>
</interface>
```

VMware ESXi

محول vSwitch القياسي (XDP العام):

- محول الشبكة: VMXNET3
- وضع XDP: `generic`

SR-IOV (XDP الأصلي):

- تمكين SR-IOV في إعدادات مضيف ESXi
- إضافة محول شبكة SR-IOV إلى الآلة الافتراضية
- وضع XDP: `native`

Microsoft Hyper-V

محول افتراضي (XDP العام):

- محول الشبكة: صناعي
- وضع XDP: `generic`

SR-IOV (XDP الأصلي):

- تمكين SR-IOV في Hyper-V Manager
- تكوين SR-IOV على محول الشبكة الافتراضي
- وضع XDP: `native`

VirtualBox

وضع NAT/الجسر (XDP العام فقط):

- محول الشبكة: VirtIO-Net أو Intel PRO/1000
- وضع XDP: `generic`
- ملاحظة: VirtualBox لا يدعم SR-IOV

توافق NIC

فهم Mpps مقابل الإنتاجية

ليست متساوية مباشرة - العلاقة **عدد الحزم في الثانية (Mpps) والإنتاجية (Gbps)** تعتمد تمامًا على حجم الحزمة. تتنوع حركة مرور الشبكة المحمولة بشكل كبير في حجم الحزمة، من حزم VoIP الصغيرة إلى إطارات بث الفيديو الكبيرة.

تأثير حجم الحزمة على الإنتاجية

في الشبكات المحمولة، يقوم UPF بمعالجة الحزم المغلفة GTP-U على واجهة N3 والحزم IP الأصلية على واجهة N6.

العبء الزائد لتغليف GTP-U (واجهة N3):

- **رأس IPv4 الخارجي**: 20 بايت
- **رأس UDP الخارجي**: 8 بايت
- **رأس GTP-U**: 8 بايت
- **إجمالي العبء ال��ائد لـ GTP-U**: 36 بايت

أقل حزمة GTP-U (N3):

- **رأس IP الداخلي** (IPv4): 20 بايت
- **رأس UDP الداخلي**: 8 بايت
- **أقل حمولة**: 1 بايت
- **إجمالي الحزمة الداخلية**: 29 بايت
- **بالإضافة إلى العبء الزائد لـ GTP-U**: 36 بايت
- **إجمالي حجم الحزمة**: 65 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقل حزم GTP-U:

```
65 بايت x 1,000,000 pps x 8 520 = بت/بايت Mbps
```

أقصى حزمة GTP-U (N3 مع MTU 1500):

- **IP MTU الداخلي**: 1500 بايت (حزمة IP الداخلية كاملة)
- **بالإضافة إلى العبء الزائد لـ GTP-U**: 36 بايت

- **إجمالي حجم الحزمة**: 1536 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقصى حزم GTP-U:

```
1536 بايت x 1,000,000 pps x 8 = 12,288 بت/ثانية ~ 12.3 Gbps
```

حزم IP الأصلية (واجهة N6):

على N6 (نحو الإنترنت)، الحزم هي IP أصلية بدون GTP-U:

أقل حزمة N6:

- **رأس IP**: 20 بايت
- **رأس UDP**: 8 بايت
- **أقل حمولة**: 1 بايت
- **الإجمالي**: 29 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقل حزم N6:

```
29 بايت x 1,000,000 pps x 8 = 232 بت/ثانية Mbps
```

أقصى حزمة N6 (1500 MTU):

- **IP MTU**: 1500 بايت
- **الإجمالي**: 1500 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقصى حزم N6:

```
1500 بايت x 1,000,000 pps x 8 = 12,000 بت/ثانية Mbps = 12 Gbps
```

أمثلة على الأداء في العالم الحقيقي

NIC Intel X710 (10 سعة Mpps على واجهة N3 مع GTP-U):

نمط الحركة	حجم الحزمة الداخلية	إجمالي GTP-U	الإنتاجية عند 10 Mpps	حالة الاستخدام النموذجية
مكالمات VoIP (N3)	65-150 بايت	101-186 بايت	**0.8-1.5 Gbps**	صوت AMR-WB، G.711
ويب خفيف (N3)	400-600 بايت	436-636 بايت	**3.5-5.1 Gbps**	رسائل HTTP/HTTPS،
محمول حديث (N3)	**1200 بايت**	**1236 بايت**	**9.9 Gbps**	**مزيج حركة مرور نموذجية لعام 2024**
بث الفيديو (N3)	1400-1450 بايت	1436-1486 بايت	**11.5-11.9 Gbps**	قطع فيديو HD/4K
أقصى MTU (N3)	1500 بايت	1536 بايت	**12.3 Gbps**	تنزيلات TCP كبيرة

على واجهة N6 (IP الأصلية، بدون GTP-U):

نمط الحركة	حجم الحزمة	الإنتاجية عند 10 Mpps	حالة الاستخدام النموذجية
حزم VoIP	65-150 بايت	**0.5-1.2 Gbps**	تدفقات صوت RTP
ويب خفيف	400-600 بايت	**3.2-4.8 Gbps**	طلبات HTTP
محمول حديث	**1200 بايت**	**9.6 Gbps**	**حركة مرور نموذجية لعام 2024**
بث الفيديو	1400-1450 بايت	**11.2-11.6 Gbps**	تنزيلات الفيديو
أقصى MTU	1500 بايت	**12.0 Gbps**	نقل ملفات كبيرة

مع حركة مرور المحمول الحديثة (متوسط 1200 بايت)، توقع ~**10 Mpps** عند **10 Gbps** **إنتاجية** على كل من واجهتي N3 وN6.

التخطيط العملي للسعة:

مع حجم حزمة متوسط 1200 بايت (نموذجي لشبكات المحمول الحديثة مع بث الفيديو):

سعة Mpps لـ NIC	الإنتاجية على N3 (GTP-U)	الإنتاجية على N6 (IP الأصلية)	نشر واقعي
1 Mpps	~1.0 Gbps	~1.0 Gbps	موقع خلية صغيرة، بوابة IoT
5 Mpps	~4.9 Gbps	~4.8 Gbps	موقع خلية متوسطة، مؤسسة
10 Mpps	~9.9 Gbps	~9.6 Gbps	موقع خلية كبيرة، مدينة صغيرة
20 Mpps	~19.7 Gbps	~19.2 Gbps	منطقة حضرية، مدينة متوسطة
40 Mpps	~39.4 Gbps	~38.4 Gbps	منطقة حضرية كبيرة، مركز إقليمي

برامج تشغيل الشبكة الداعمة لـ XDP

يتطلب OmniUPF برامج تشغيل الشبكة التي تدعم XDP. يعمل **الأصلي** و**التحميل** لوضعي **أي** NIC. الوضع العام مع

NICs من Intel

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Intel X710	i40e	نعم	أصلي	~10 Mpps
Intel XL710	i40e	نعم	أصلي	~10 Mpps
Intel E810	ice	نعم	أصلي	~15 Mpps
Intel 82599ES	ixgbe	نعم	أصلي	~8 Mpps
Intel I350	igb	محدود	عام	~1 Mpps
Intel E1000	e1000	لا	عام فقط	~1 Mpps

NICs من Mellanox/NVIDIA

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Mellanox ConnectX-5	mlx5	نعم	أصلي	~12 Mpps
Mellanox ConnectX-6	mlx5	نعم	أصلي	~20 Mpps
Mellanox BlueField	mlx5	نعم	أصلي + تحميل	~40 Mpps
Mellanox ConnectX-4	mlx4	محدود	عام	~2 Mpps

NICs من Broadcom

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Broadcom BCM57xxx	bnxt_en	نعم	أصلي	~8 Mpps
Broadcom NetXtreme II	bnx2x	لا	عام فقط	~1 Mpps

بائعون آخرون

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Netronome Agilio CX	nfp	نعم	تحميل	~30 Mpps
Amazon ENA	ena	نعم	أصلي	~5 Mpps
Solarflare SFC9xxx	sfc	نعم	أصلي	~8 Mpps
VirtIO	virtio_net	محدود	عام	~2 Mpps

التحقق من دعم XDP لـ NIC

تحقق مما إذا كان برنامج التشغيل يدعم XDP:

```
# العثور على برنامج تشغيل NIC
ethtool -i eth0 | grep driver

# تحقق من دعم XDP في برنامج التشغيل
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# مثال لـ Intel i40e
modinfo i40e | grep -i xdp
```

تحقق من إرفاق برنامج XDP:

```
# تحقق مما إذا كان برنامج XDP مرفقًا
ip link show eth0 | grep -i xdp

# مثال على الإخراج (XDP مرفق):
# 2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 xdp qdisc mq
```

NICs الموصى بها حسب حالة الاستخدام

مع حجم حزمة متوسط 1200 بايت (حركة مرور المحمول الحديثة):

سيناريو النشر	الإنتاجية (N3)	سعة Mpps	الوضع	NIC الموصى بها	حالة الاستخدام
اختبار في المختبر، إثبات المفهوم	1-2 Gbps	1-2 Mpps	عام	أي NIC (VirtIO، E1000)	**اختبار/تطوير**
خلية ريفية، مؤسسة	5-10 Gbps	5-10 Mpps	أصلي	Intel X710، Mellanox CX-5	**موقع خلية صغيرة**
خلية حضرية، مدينة صغيرة	10-20 Gbps	10-20 Mpps	أصلي	Intel E810، Mellanox CX-6	**خلية متوسطة/حضرية**
منطقة حضرية، مدينة متوسطة	20-40 Gbps	20-40 Mpps	أصلي	Mellanox CX-6، Intel E810 (ث��ائي)	**حضرية كبيرة**
تجميع إقليمي	40+ Gbps	40+ Mpps	تحميل	Mellanox BlueField، Netronome Agilio	**مركز إقليمي**
اختبار فقط	1-2 Gbps	1-2 Mpps	عام	VirtIO	**آلة Proxmox الافتراضية (الجسر)**
آلة افتراضية للإنتاج	5-10 Gbps	5-10 Mpps	أصلي	Intel X710/E810 VF، Mellanox CX-5 VF	**آلة Proxmox الافتراضية (SR-IOV)**

موارد إضافية

وثائق XDP الرسمية:

- مشروع XDP
- وثائق XDP للنواة

قوائم توافق NIC:

- دعم الأجهزة XDP لـ Cilium
- برامج تشغيل XDP لـ IO Visor

أمثلة التكوين

المثال 1: بيئة تطوير (الوضع العام)

السيناريو: اختبار OmniUPF بدون SR-IOV على اللابتوب أو الآلة الافتراضية

```
# تكوين التطوير (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"
api_port = 8080
pfcp_address = "127.0.0.1"
pfcp_port = 8805
node_id = "127.0.0.1"
n3_address = "127.0.0.1"
log_level = :debug
max_sessions = 1_000
```

المثال 2: الإنتاج على المعدن العاري (الوضع الأصلي)

السيناريو: UPF الإنتاج على خادم المعدن العاري مع NIC Intel X710

```
# تكوين المعدن العاري للإنتاج (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "ens1f0,ens1f1"    # N3 على ens1f0، N6 على ens1f1
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.100.50.241"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.100.50.241"
n3_address = "10.100.50.233"
n9_address = "10.100.50.234"
log_level = :info
max_sessions = 500_000
gtp_echo_interval = 30
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.10"), echo: true, echo_interval:
30},
  %{address: parse_ip.("10.100.50.11"), echo: true, echo_interval:
30},
]
heartbeat_interval_ms = 10_000
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"
```

المثال 3: آلة Proxmox الافتراضية مع SR-IOV (الوضع الأصلي)

السيناريو: UPF الإنتاج على آلة افتراضية Proxmox مع تمرير SR-IOV

```
# تكوين SR-IOV لـــ Proxmox (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "ens1f0"           # VF SR-IOV
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "192.168.100.10"
pfcp_port = 8805
node_id = "192.168.100.10"
n3_address = "192.168.100.10"
log_level = :info
max_sessions = 100_000
gtp_echo_interval = 15
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("192.168.100.50"), echo: true},
]
```

المثال 4: وضع PGW-U (4G EPC)

السيناريو: OmniUPF تعمل كـ PGW-U 4 في شبكة 4G EPC

```
# تكوين PGW-U (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.200.1.10"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.200.1.10"
n3_address = "10.200.1.10"          # واجهة S5/S8 (GTP-U)
log_level = :info
max_sessions = 200_000
gtp_echo_interval = 20
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.200.1.50"), echo: true, echo_interval:
20},
]
heartbeat_interval_ms = 5_000
```

المثال 5: وضع متعدد (UPF + PGW-U في وقت واحد)

السيناريو: OmniUPF 5 تخدم كل من الشبكات 4G و5G في وقت واحد

```
# تكوين الوضع المتعدد (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0,eth1"
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.50.1.100"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.50.1.100"
n3_address = "10.50.1.100"
n9_address = "10.50.1.101"
log_level = :info
max_sessions = 300_000
gtp_echo_interval = 15
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.50.2.10"), echo: true, echo_interval:
15},
  %{address: parse_ip.("10.50.2.20"), echo: true, echo_interval:
15},
]
heartbeat_interval_ms = 10_000
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.60.0.0/16"
```

المثال 6: وضع تحميل SmartNIC

السيناريو: ��شر عالي الإنتاجية للغاية مع SmartNIC Netronome Agilio CX

```
# تكوين تحميل SmartNIC (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "enp1s0np0"        # واجهة SmartNIC
xdp_attach_mode = "offload"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.10.1.50"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.10.1.50"
n3_address = "10.10.1.50"
log_level = :warning
max_sessions = 1_000_000
far_map_size = 2_000_000
qer_map_size = 1_000_000
gtp_echo_interval = 30
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.10.2.10"), echo: true},
  %{address: parse_ip.("10.10.2.20"), echo: true},
  %{address: parse_ip.("10.10.2.30"), echo: true},
]
heartbeat_interval_ms = 15_000
```

تحديد حجم الخرائط والتخطيط للسعة

إعداد أحجام الخرائط

قم بتعيين `max_sessions` وتكوين أحجام الخرائط لنشرك:

```
max_sessions = 100_000
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
```

استخدام الذاكرة: ~91 ميغابايت لـ 100 جلسة K

تقدير السعة

احسب الحد الأقصى للجلسات:

```
الحد الأقصى للجلسات = min(
  pdr_map_size / 2,
  far_map_size / 2,
  qer_map_size
)
```

مثال:

- خريطة PDR: 200,000
- خريطة FAR: 200,000
- خريطة QER: 100,000

الحد الأقصى للجلسات = min(100,000, 100,000, 100,000) = **100,000**

متطلبات الذاكرة

استخدام الذاكرة لكل جلسة:

- PDR: 2 x 212 ب = 424 ب
- FAR: 2 x 20 ب = 40 ب
- QER: 1 x 36 ب = 36 ب
- URR: 2 x 20 ب = 40 ب
- **الإجمالي**: ~540 ب لكل جلسة

100 جلسة: ~52 ميغابايت من ذاكرة النواة **لـ K**

التوصية: تأكد من أن حد الذاكرة المقفلة يسمح باستخدام 2 المقدر x:

```
# تحقق من الحد الحالي
ulimit -l

# تعيين غير محدود (مطلوب لـ eBPF)
ulimit -l unlimited
```

الوثائق ذات الصلة

- **دليل المعمارية** - تفاصيل فنية حول eBPF/XDP وتحسين الأداء
- **دليل إدارة القواعد** - تكوين URR وQER وFAR وPDR
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات، مراقبة السعة، والتنبيهات
- **مرجع المقاييس** - مرجع كامل لمقاييس Prometheus
- **دليل واجهة الويب** - عمليات لوحة التحكم
- **دليل العمليات** - نظرة عامة على معمارية UPF والنشر
- **دليل الحديقة المسورة** - إعادة التوجيه عند نفاد الرصيد، بوابة أسيرة، وتكوين القائمة البيضاء

IPv6 / Dual-Stack على مستوى المستخدم

متطلبات: IPv4v6 و PDN IPv6 لجلسات IPv6 مع حركة مرور المستخدم OmniUPF كيف يتعامل UE وإعلان مسارات مضيف، PFCP السفلي من IPv6 برمجة رابط، UE النواة، مجموعة عناوين إلى الشبكة عبر OSPFv3.

التفاوض) تتناول هذه الصفحة مسؤوليات **مستوى المستخدم**. يتم التعامل مع مستوى التحكم بواسطة SMF/PGW-C) عبر PFCP إلى UPF لـ UE وإشارة عنوان IPv6، Gx، PAA، على نوع PDN. انظر أيضًا إدارة المسارات و دليل التكوين.

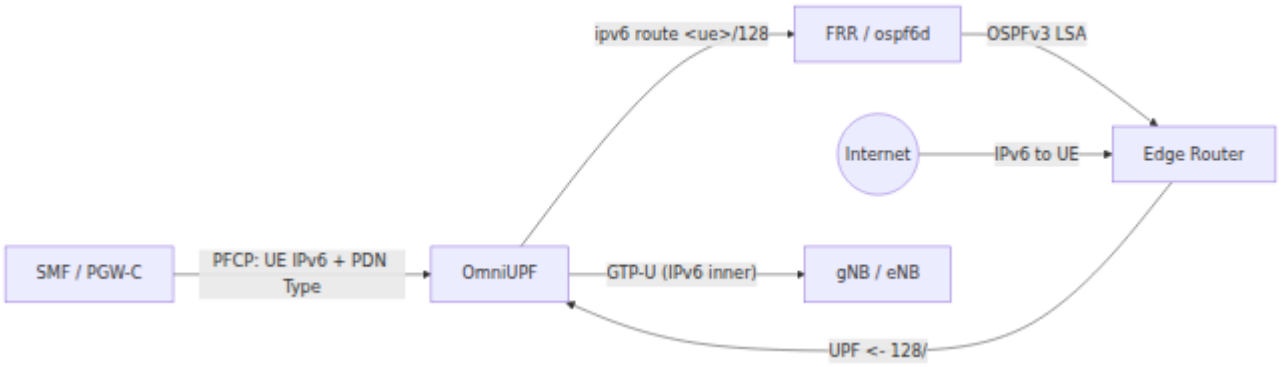
جدول المحتويات

- نظرة عامة
- متطلبات النواة
- مجموعة عناوين UE IPv6
- إعلان مسار OSPFv3
- سلوك مستوى البيانات
- ستكشاف الأخطاء وإصلاحها

نظرة عامة

عند إنشاء جلسة PDN IPv6 (أو IPv4v6)، يقوم SMF/PGW-C بإرسال عنوان IPv6 لـ UE ونوع PDN إلى UPF عبر PFCP. ثم يقوم UPF بـ:

1. **برمجة رابط** **IPv6** **بحث** إلى **السفلي** بحيث يتم مطابقة الحزم الموجهة إلى UE ونفقتها.
2. إضافة UE عبر **مسار مضيف** `/128` لعنوان UE وإعلانه إلى جهاز التوجيه الطرفي عبر **OSPFv3**، بحيث يتم جذب حركة المرور السفلية إلى هذا UPF.
3. فك تغليف الرفع، تغليف) توجيه حركة مرور المستخدم في كلا الاتجاهين GTP-U (السلفي) لحزم IPv6 الداخلية.



متطلبات النواة

يجب تمكين IPv6 وتفعيل التوجيه على مستوى المضيف. يتم تطبيق ذلك عبر sysctl drop-in (على سبيل المثال، تحت `/etc/sysctl.d/`).

الإعداد	القيمة المطلوبة	الوصف
`net.ipv6.conf.all.disable_ipv6`	`0`	يجب تمكين IPv6. يحتاج إلى UPF واجهة بيانات عالمي للعبور IPv6 عنوان والتوجيه.
`net.ipv6.conf.default.disable_ipv6`	`0`	مفعلًا IPv6 يضمن بقاء على الواجهات التي تظهر حديثًا.
`net.ipv6.conf.all.forwarding`	`1`	بحيث IPv6 يمكّن توجيه تخرج حركة مرور الرفع للـ ويتم توجيه حركة UE المرور السفلية إلى مستوى البيانات.

عالمي على الجزء العابر (نحو جهاز التوجيه IPv6 تحتاج واجهة مستوى البيانات أيضًا إلى عنوان وتبادل المسارات OSPFv3 الطرفي) لتشكيل جيرة.

مجموعة عناوين UE IPv6

عند تخصيص UPF لعناوين UE (بدلاً من تلقيها من SMF)، قم بتعيين مجموعة IPv6 في `runtime.exs`. عندما يقوم SMF/PGW-C بتزويد عنوان UE عبر PFCP، يتم استخدام هذا العنوان مباشرة ولا يتم استشارة هذه المجموعة للجلسة.

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
config :upf_ex,
  ueip_pool: "2001:db8:6f85:70::/64"
```

المعامل	النوع	مطلوب	الافتراضي	الوصف
`ueip_pool`	سلسلة (CIDR)	لا	-	مجموعة IP للـ UE المستخدمة بأداء تخصيص UPF عندما يقوم العنوان. تقبل CIDR IPv4 أو IPv6؛ يتم اكتشاف عائلة العنوان من السلسلة.

إعلان مسار OSPFv3

يتم تثبيت كل عنوان IPv6 نشط للـ UE ويتم الإعلان عنه إلى جهاز التوجيه كمسار مضيف `/128` IPv4 الطرفي، مما يعكس سلوك `/32`. يتم إدارة المسارات بواسطة مدير المسار وإعادة توزيعها إلى OSPF بواسطة FRR.

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
config :upf_ex,
  route_manager_enabled: true,
  route_manager_type: "frr"
```

المعامل	النوع	مطلوب	الافتراضي	الوصف
`route_manager_enabled`	بولياني	لا	`false`	يمكّن إدارة مسار مضيف UE. يجب أن يكون `true` للإعلان عن مسارات UE.
`route_manager_type`	سلسلة	لا	-	خلفية المسار. تقوم بحقن `"frr"` المسارات عبر FRR/`vtysh`؛ الخلفية الثابتة تستخدم أوامر المسار `ip`/`ipv6` مباشرة. استخدم `"frr"` للإعلان عن OSPFv3.

يجب أن تعمل مثيل FRR **OSPFv3** (`ospf6d`) على واجهة العبور وإعادة توزيع المسارات الثابتة، إلى جهاز التوجيه الطرفي. يتم إضافة مسارات مضيف `/128` UE بحيث يتم إغراق مسارات مضيف IPv6 باستخدام أمر `ip route` الخاص بـ IPv4 لا يقبل أمر - `ipv6 route <addr>/128` بادئات IPv6. انظر إدارة المسارات لدورة حياة مدير المسار.

سلوك مستوى البيانات

الاتجاه	السلوك
السفلية (الشبكة → UE)	السفلي المبرمج من IPv6 ضد جدول IPv6 يتم مطابقة الوجهة الداخلية gNB/eNB (أو نحو GTP-U ؛ يتم تغليف الحزم المطابقة بتغليفPFCP جلسة تخزينها إذا كانت إجراء القاعدة هو BUFF).
الرفع (UE → الشبكة)	الداخلية عبر واجهة IPv6 ويتم توجيه حزمة GTP-U يتم فك تغليف N6 باستخدام FIB IPv6 للنواة (الخاص بالتوجيه sysctl لذا فإن).
التخزين المؤقت (BUFF)	السفلية المخزنة إلى مستمع ��لتخزين المؤقت في IPv6 يتم تسليم حزم مساحة المستخدم ويتم تفريغها عند الانتقال إلى التوجيه، مثل IPv4.

تصفية المسار العكسي في الإصدارات الحالية؛ / `accept_local` لا يتطلب أي استرخاء لـ martians. يستخدم مسار التخزين المؤقت مصدر خارجي غير محلي بحيث لا يتم إسقاط الحزم كـ

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

UE السفلية لا تصل إلى IPv6 حركة مرور

الأعراض: تم إنشاء الجلسة وتعمل الرفع، ولكن يتم إسقاط حركة المرور من الشبكة إلى UE.

الأسباب المحتملة:

- UE `/128` لم يتم الإعلان عن مسار مضيف (أو مدير المسار معطل، غير قيد OSPFv3 التشغيل على UPF).
- وجهاز التوجيه الطرفي UPF بين OSPFv3 لم يتم إنشاء جيرة.
- (تأخير التقارب) `128/` لم يقم جهاز التوجيه الطرفي بعد بتثبيت.

الحل:

1. تأكد من `route_manager_enabled: true` و `route_manager_type: "frr"`.
2. على واجهة العبور ويعيد توزيع OSPFv3 يعمل UPF الخاص بـ FRR تحقق من أن مثيل المسارات الثابتة.

3. تأكد م�ّ أن جيرة OSPFv3 يظهر UE كاملة وأن جهاز التوجيه الطرفي التي `/128` تم تعلمها عبر OSPF.

لا يتم توجيهها على IPv6 حركة مرور المستخدم الإطلاق

الأعراض: لا يعمل IPv6 المسارات وجود مع حتى السفلية، أو الرفع في.

الأسباب المحتملة:

- IPv6 تم تعطيل أو التوجيه غير مفعل المضيف، على.
- IPv6 لا تحتوي واجهة مستوى البيانات على عنوان عالمي.

الحل:

1. متطلبات النواة من تحقق (`disable_ipv6=0`، `forwarding=1`).
2. IPv6 تأكد من أن واجهة مستوى البيانات تحتوي على عنوان عالمي على الجزء العابر.

مرجع المقاييس

تصف هذه الوثيقة جميع مقاييس Prometheus التي تعرضها OmniUPF على نقطة النهاية `/api/metrics` (تعمل واجهة برمجة التطبيقات HTTP على `api_port`، `8080` الافتراضي). لاحظ البادئة `/api` - يتم تقديم كل مسار API تحتها.

تعكس أسماء المقاييس والأنواع والعلامات أدناه المقاييس التي تعرضها OmniUPF.

فئات المقاييس

1. **مقاييس PFCP** - عدادات رسائل التحكم، والارتباط، والجلسة، والأخطاء
2. **مقاييس دورة حياة الجلسة** - عدادات إنشاء/حذف/تعديل الجلسات ومدة التأسيس
3. **مقاييس المسار البطيء في مساحة المستخدم والتخزين المؤقت** - عدادات غير TEID التوجيه لتخزين البيانات في المسار الهابط، وحديقة مغلقة، وإشارات خطأ معروفة
4. **مقاييس تقرير البيانات الهابطة (DLDR)** - إشعارات طلب تقرير جلسة PFCP وتتبع فهرس FAR
5. **مقاييس GTP-U** - ردود صدى وأخطاء إشارات
6. **مقاييس URR** - عدادات تقارير الاستخدام ومؤقتات URR النشطة
7. **مقاييس خريطة eBPF** - مقاييس إدخالات خريطة بيانات المسار
8. **عرض بيانات المسار** - عدادات مقيدة بـ `_total` لكل اتجاه (N3/N6)، `/api/v1/xdp_stats` ؛ أيضًا عند الطلب عبر `expose_xdp_metrics` (#57)
9. **مقاييس الموارد / التوجيه** - مقاييس تجمع TEID/FAR-ID ومقاييس مسارات UE
10. **مقاييس الحديقة المغلقة** - عدادات اعتراض بوابة الأسر، وإعادة التوجيه، وتزوير DNS

مقاييس PFCP

عدادات بروتوكول التحكم بين PFCP (SMF / PGW-C / SGW-C) ونظرائه UPF.

اسم المقياس	النوع	العلامات	ف
`upf_pfcp_associations`	Gauge	none	ت النشطة حاليًا (جميع الأقران)
`upf_pfcp_sessions`	Gauge	none	ت النشطة حاليًا الأقران)
`upf_pfcp_peer_restarts_total`	Counter	`peer`	تشغيل الأقران زمني للاسترداد)
`upf_pfcp_duplicate_requests_total`	Counter	none	طلبات المكررة وتم قمعها
`upf_orphaned_sessions_deleted_total`	Counter	none	وفة نتيجة لإعادة غيل أحد الأقران
`upf_pfcp_messages_rx_total`	Counter	`type`, `peer`	ع PFCP رسائل الرسالة والند
`upf_pfcp_messages_tx_total`	Counter	`type`, `peer`	ع PFCP رسائل الرسالة والند
`upf_pfcp_errors_total`	Counter	`type`	PF رفض طلبات ل) سبب الرفض `session_con` `mandatory_i`

مقاييس دورة حياة الجلسة

اسم المقياس	ا��نوع	العلامات
`upf_sessions_created_total`	Counter	none
`upf_sessions_deleted_total`	Counter	none
`upf_sessions_modified_total`	Counter	none
`upf_session_establishment_duration_microseconds`	Histogram	none

مقاييس المسار البطيء في مساحة المستخدم والتخزين المؤقت

يقوم مسار بيانات eBPF في مساحة المستخدم البطيء بإرسال الحزم إلى المسار البطيء (منفذ UDP `22152`، الافتراضي) عندما يكون UE لثلاث مهام متميزة: **تخزين البيانات في المسار الهابط**، والرد على UE) يتم الاحتفاظ به حتى يتم استدعاء) غير نشط **إعادة توجيه الحديقة المغلقة**، فقط المقاييس .GTP-U بإشارة خطأ G-PDUs **غير معروف TEID**

أدناه تصف التخزين المؤقت الصحيح؛ الحديقة المغلقة لها `buffered`/`flushed`/`current` غير المعروف يتم عدّه كـ TEIDو `upf_walled_garden_*` مقاييسها الخاصة `upf_gtpu_error_indications_sent_total`.

اسم المقياس	النوع	العلامات	ف
`upf_userspace_punt_received_total`	Counter	none	تم إرسالها إلى ليء في مساحة ب +) المستخدم الحديقة المغلقة معروف)
`upf_gtpu_oversize_punted_total`	Counter	none	تم GTP-U حزم غلف أعلى من) مساحة (الخروج وم النواة بتجزئة . يعني النم�� ترك يدفع حركة امل عبر المسار البطيء؛ انظر `gtpu_oversi`
`upf_buffer_packets_buffered_total`	Counter	none	ضافتها بنجاح إلى لتخزين المؤقت
`upf_buffer_packets_flushed_total`	Counter	none	غها من التخزين المؤقت
`upf_buffer_packets_dropped_total`	Counter	`reason`	طها من / لم يتم لتخزين المؤقت
`upf_buffer_packets_current`	Gauge	none	اليًا في التخزين المؤقت
`upf_buffer_flush_operations_total`	Counter	none	لتخزين المؤقت ، تفريغ) الناجحة
`upf_buffer_flush_packets_sent_total`	Counter	none	عمليات التفريغ
`upf_buffer_flush_errors_total`	Counter	`reason`	لتخزين المؤقت الفاشلة

قيم `reason` **لـ** `upf_buffer_packets_dropped_total` (من إسقاطات إضافة التخزين المؤقت وأخطاء مستمع التخزين المؤقت):

- `global_limit` - تم الوصول إلى سعة التخزين المؤقت الإجمالية (`buffer_max_total`)
- `far_limit` - تم الوصول إلى حد التخزين المؤقت لكل FAR (`buffer_max_per_far`)
- `expired` - تم تجاوز TTL (`buffer_ttl_ms`) قبل التفريغ
- `read_error` - خطأ في القراءة من مقبس التخزين المؤقت
- `too_small` - الحزمة صغيرة جدًا لرأس GTP
- `invalid_gtp_type` - نوع رسالة GTP غير G-PDU
- `not_buffering_far` - لا يحتوي FAR على إجراء BUFF
- `error_indication_failed` - لم يكن بالإمكان إرسال إشارة خطأ GTP-U لتوجيه TEID غير معروف

> ويتم GTP-U غير المعروف هو **ليس** إسقاط تخزين مؤقت: يتم الرد عليه بإشارة خطأ TEID استجابة صحيحة للمسار) عدّه بواسطة `upf_gtpu_error_indications_sent_total` البطيء، وليس فقدان حزمة).

قيم `reason` **لـ** `upf_buffer_flush_errors_total`**:**

- `far_lookup_failed` - لم يكن بالإمكان البحث عن معلومات FAR من خريطة eBPF
- `no_forw_action` - لا يحتوي FAR على إجراء FORW محدد
- `connection_failed` - فشل في فتح مقبس UDP للتفريغ

مقاييس تقرير البيانات الهابطة (DLDR)

مقاييس لإشعارات طلب تقرير جلسة PFCP المرسلة إلى مستوى التحكم عند تخزين الحزم الهابطة. تحفز هذه الإشعارات SMF/PGW-C لاستدعاء UE.

اسم المقياس	النوع	العلامات	الوصف
`upf_dldr_sent_total`	Counter	`peer`	تقارير البيانات الهابطة المرسلة، مصنفة حسب عنوان SMF/PGW-C
`upf_dldr_errors_total`	Counter	none	أخطاء ترميز / إرسال DLDR
`upf_dldr_skipped_total`	Counter	none	قد FAR لأن DLDRs تم تخطي تم إخطارها بالفعل
`upf_far_index_size`	Gauge	none	FarIndex المسجلة في FARs لإشعار DLDR

مقاييس GTP-U

عدادات إدارة مسار GTP-U وإشارات الخطأ. يتم تبادل إشارات الخطأ عندما يتلقى أحد الأقران حزمًا لتوجيه TEID (عادةً بعد إعادة التشغيل) غير معروف.

اسم المقياس	النوع	العلامات	ف
`upf_gtpu_echo_responses_tx_total`	Counter	none	ردود صدى GTP رسلة
`upf_gtpu_error_indications_sent_total`	Counter	none	رات خطأ GTP رسلة (لـ TEI واردة غير روفة
`upf_gtpu_error_indications_rx_total`	Counter	none	رات خطأ GTP تلمة من قران
`upf_error_indication_sessions_deleted_total`	Counter	none	سات ذوفة تيجة ستلام شارة خطأ

غير موجود (مثل TEID لتوجيه GTP-U حزمة UPF **عندما يتم إرسال إشارات الخطأ:** يتلقى بعد إعادة التشغيل، أو تم حذف الجلسة بالفعل)، ويبلغ المرسل بالتوقف.

الذي قام TEID **عندما يتم استلام إشارات الخطأ:** لا يتعرف أحد ��لأقران في الأسفل على بحذف الجلسة المتأثرة للتوقف عن إعادة التوجيه إلى نفق ميت UPF بإعادة توجيهه؛ يقوم UPF.

مقاييس URR (قاعدة تقارير الاستخدام)

اسم المقياس	النوع	العلامات	الوصف
`upf_urr_reports_sent_total`	Counter	`trigger`	تقارير استخدام URR المرسلة، مصنفة حسب مشغل التقرير
`upf_urr_report_errors_total`	Counter	none	أخطاء ترميز / إرسال تقرير URR
`upf_urr_active_timers`	Gauge	none	مؤقتات URR النشطة (دورية / عتبة زمنية / صلاحية الحصة)

`trigger` يعكس مشغل تقرير URR - مثل `periodic` (PERIO)، `volume_threshold` (VOLTH)، `time_threshold` (TIMTH)، `quota_validity` (QUVTI).

لا يتم تصديرها كمقاييس Prometheus (لتجنب الكاردينالية العالية). اقرأ عدادات البايت لكل URR إحصائيات URR الفردية عبر واجهة برمجة التطبيقات REST على `/api/v1/urr_map`.

مقاييس خريطة eBPF

مقاييس لاستخدام خريطة بيانات المسار، يتم تحديثها في كل عملية سحب.

اسم المقياس	النوع	العلامات	الوصف
`upf_ebpf_far_entries`	Gauge	none	إدخالات FAR في خريطة eBPF
`upf_ebpf_pdr_uplink_entries`	Gauge	none	إدخالات PDR في الاتجاه الصاعد في خريطة eBPF (PDRs مع TEID)
`upf_ebpf_pdr_downlink_entries`	Gauge	none	إدخالات PDR في الاتجاه الهابط في خريطة eBPF (PDRs مفاتيحها عنوان IP لـ UE)

`upf_ebpf_far_entries` تعكس تجمع FAR-id المخصص (`upf_far_ids_allocated`)، على إدخال واحد لكل far_map حيث تحتوي خريطة FAR id مخصص. يتم تجميع مقاييس PDR من حالة الجلسة الحية في كل عملية سحب (التكلفة هي O(total sessions)).

عرض بيانات المسار (N3/N6)

عدادات الحزم والبايت لكل اتجاه لحركة مرور المستخدم (**N3** = جانب GTP-U نحو gNB/eNB؛ **N6** = جانب SGi (نحو شبكة البيانات تأتي من خريطة percpu `upf_ext_stat` الخاصة بـ eBPF.

اسم المقياس	النوع	العلامات	الوصف
`upf_n3_rx_packets_total` / `upf_n3_tx_packets_total`	Counter	none	حزم N3 (GTP-U) الداخلة / الخارجة من مسار XDP
`upf_n6_rx_packets_total` / `upf_n6_tx_packets_total`	Counter	none	حزم N6 (SGi) الداخلة / الخارجة من مسار XDP
`upf_n3_rx_bytes_total` / `upf_n3_tx_bytes_total`	Counter	none	بايت N3 (GTP-U) الداخلة / الخارجة
`upf_n6_rx_bytes_total` / `upf_n6_tx_bytes_total`	Counter	none	بايت N6 (SGi) الداخلة / الخارجة

مقيدة بـ `expose_xdp_metrics` (المشكلة #57). قراءة `upf_ext_stat` على مسار generic-XDP **TX-ring wedge** ثبت أنها تؤدي إلى (Prometheus لكل عملية سحب) الطلب يتم تطبيق تدبيرين: يتم إجراء القرا**ة خارج مسار الطلب بواسطة `virtio_net`. لـ `Sampler` في الخلفية (على فترات ثابتة، وليس عند السحب)، وهي مقيدة بـ `config :upf_ex, expose_xdp_metrics: true`. أو عند تعطيلها، لا يتم إعلان هذه العدادات تصديرها.

الأساسية مثبتة، لذلك تبقى على `upf_ext_stat` **التراكمية**. خريطة `_total` هذه هي عدادات ؛ يقوم المجمع`.o` eBPF ولكن يتم تصفيرها عند إعادة نشر omniupf قيد الحياة بعد إعادة تشغيل صحيحة عبر كلاهما. لا تقرأ `rate()` بترجمة قيمتها المطلقة إلى زيادات عداد أحادية حتى تظل `rate()` هذه كعدادات. استخدم.

عند الطلب JSON: `GET /api/v1/xdp_stats` إلا eBPF يعيد نفس الحقول ولا يتعامل مع `rx_n3_bytes` و (حزم) `tx_n6` / `rx_n6` / `tx_n3` / `rx_n3` :عندما تستدعيه صراحة. الحقول / `tx_n3_bytes` / `rx_n6_bytes` / `tx_n6_bytes`.

مقاييس الموارد / التوجيه

اسم المقياس	النوع	العلامات	الوصف
`upf_routes_total`	Gauge	none	مسارات IP لـ UE التي يتم تتبعها حاليًا بواسطة مدير المسار
`upf_teid_allocated`	Gauge	none	TEIDs المخصصة حاليًا من التجمع
`upf_far_ids_allocated`	Gauge	none	FAR IDs المخصصة حاليًا من التجمع

مقاييس الحديقة المغلقة

عدادات للحديقة المغلقة التي لا تحتوي على رصيد / بوابة الأسر. انظر دليل الحديقة المغلقة للسلوك.

اسم المقياس	النوع	العلامات	ف
`upf_walled_garden_active_redirects`	Gauge	none	سات عادة وجيه شطة في ديقة غلقة
`upf_walled_garden_packets_intercepted_total`	Counter	none	حزم ي تم اضها سطة ديقة غلقة
`upf_walled_garden_packets_dropped_total`	Counter	none	حزم ي تم اطها سطة ديقة غلقة
`upf_walled_garden_packets_forwarded_total`	Counter	`dst_ip`	حزم موح التي عادة يهها، سب نوان وجهة
`upf_walled_garden_bytes_forwarded_total`	Counter	`dst_ip`	يتات موح التي عادة

اسم المقياس	النوع	العلامات	ف
			يهها، سب نوان وجهة
`upf_walled_garden_dns_spoofed_total`	Counter	`domain`	مات DNS رورة وابة، سب طاق
`upf_walled_garden_dns_forwarded_total`	Counter	`domain`	مات DNS معاد يهها قات موح بها)، سب طاق

> غير محدودة. حافظ على القائمة `domain` و `dst_ip` **ملاحظة الكاردينالية.** العلامات البيضاء ضيقة، وقم بتجميع هذه العلامات في قواعد التسجيل إذا كنت تسحب حديقة مغلقة مشغولة.

Prometheus استخدام مقاييس

الوصول إلى المقاييس

تُعرض المقاييس على نقطة النهاية `/api/metrics` لخادم واجهة برمجة التطبيقات HTTP، الذي يستمع على `api_port` (الافتراضي `8080`). لاحظ البادئة `/api` - يتم تقديم كل مسار API تحتها:

```
# عرض المقاييس الخام
curl http://localhost:8080/api/metrics

# مثال على المخرجات
upf_pfcp_sessions 42
upf_pfcp_associations 2
upf_dldr_sent_total{peer="10.100.50.241"} 17
```

تكوين Prometheus

أضف هدف OmniUPF إلى ملف `prometheus.yml` الخاص بك:

```yaml
scrape_configs:
  - job_name: 'omniupf'
    metrics_path: /api/metrics
    static_configs:
      - targets: ['localhost:8080']
```

لوحات معلومات Grafana

لوحات مفيدة للبناء من هذه المقاييس:

- عدد الجلسات والارتباطات (`upf_pfcp_sessions`, `upf_pfcp_associations`)
- عرض بيانات N3/N6 لكل اتجاه متاح عند الطلب عبر `/api/v1/xdp_stats` (تمت إزالته من السحب، انظر #57)
- ضغط التخزين المؤقت (`upf_buffer_packets_current`, معدل الإسقاط حسب `reason`)
- نشاط DLDR / الاستدعاء (`rate(upf_dldr_sent_total[5m])`)
- معدلات إشارة الخطأ وإعادة تشغيل الأقران لتنبيه صحة النفق

الوثائق ذات ا��صلة

- **دليل المراقبة** - مراقبة الإحصائيات، تخطيط السعة، والتنبيه
- **دليل التكوين** - تكوين `api_port`، وخيارات ضبط التخزين المؤقت، UPF الأخرى
- **دليل واجهة الويب** - عرض المقاييس في صفحة الإحصائيات

- مسار - **دليل الهندسة المعمارية** eBPF وتحسين الأداء
- فهم مقاييس - **دليل إدارة القواعد** URR و QER و FAR و PDR
- **دليل الحديقة المغلقة** - سلوك إعادة توجيه بوابة الأسر والقائمة البيضاء
- **دليل استكشاف الأخطاء** - استخدام المقاييس للتشخيص

دليل المراقبة

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. مراقبة الإحصائيات
3. مراقبة السعة
4. مقاييس الأداء
5. التنبيهات والحدود
6. تخطيط السعة
7. استكشاف مشاكل الأداء

نظرة عامة

تعتبر المراقبة الفعالة لـ OmniUPF أمرًا حيويًا للحفاظ على جودة الخدمة، ومنع استنفاد السعة، واستكشاف مشاكل الأداء. يوفر OmniUPF واجهة الويب و REST API مقاييس شاملة في الوقت الحقيقي من خلال

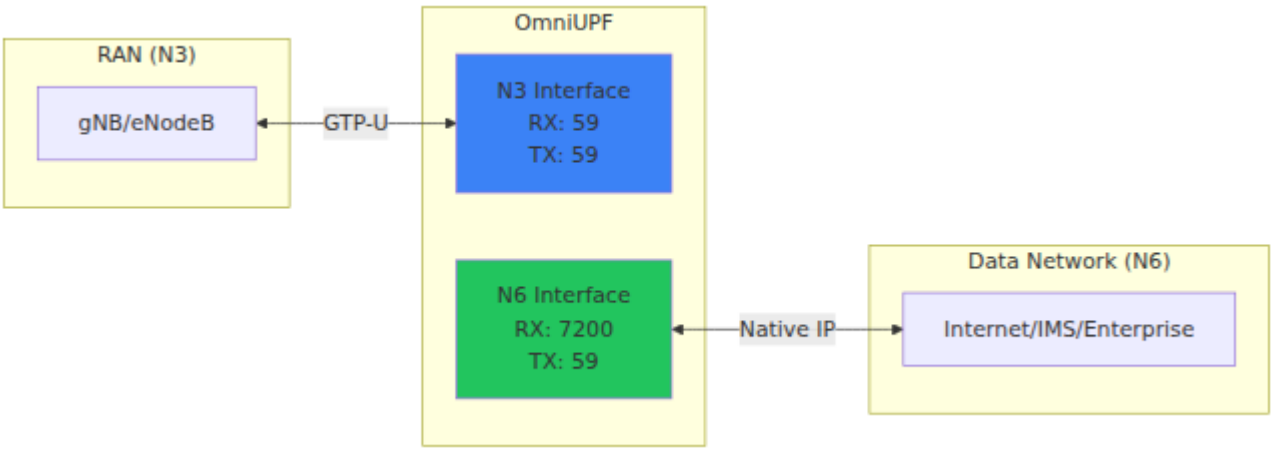
فئات المراقبة

الفئة	الغرض	تكرار التحديث	المقاييس الرئيسية
إحصائيات الحزم	تتبع معدلات معالجة الحزم والأخطاء	في الوقت الحقيقي	حزم RX/TX، تحليل الفقد، البروتوكولات
إحصائيات الواجهة	مراقبة توزيع حركة المرور N3/N6	في الوقت الحقيقي	N3 RX/TX، N6 RX/TX
إحصائيات XDP	تتبع أداء مسار البيانات في النواة	في الوقت الحقيقي	XDP المعالجة، المارة، المفقودة، الملغاة
إحصائيات التوجيه	مراقبة قرارات توجيه الحزم	في الوقت الحقيقي	عمليات بحث FIB، الضربات/ الإخفاقات في الذاكرة المؤقتة
سعة خريطة eBPF	منع استنفاد الموارد	كل 10 ثوانٍ	نسب استخدام الخريطة، المستخدمة مقابل السعة
إحصائيات المخزن المؤقت	تتبع تخزين الحزم أثناء التنقل	كل 5 ثوانٍ	الحزم المخزنة، عمر المخزن المؤقت، عدد FAR

مراقبة الإحصائيات

إحصائيات واجهة N3/N6

توفر إحصائيات واجهة N3/N6 رؤية لتوزيع حركة المرور بين RAN (N3) وشبكة البيانات (N6).



المقاييس:

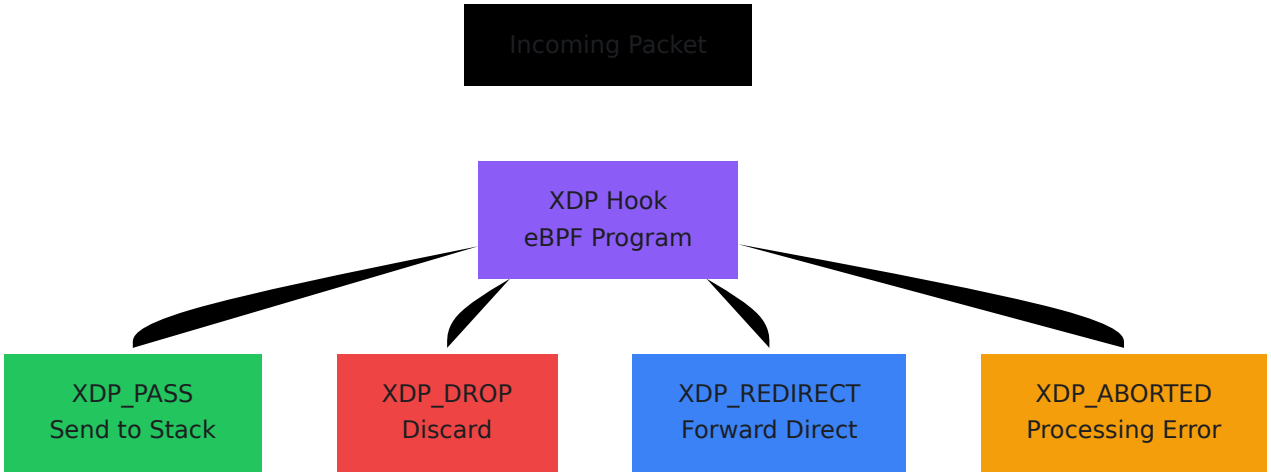
- **RX N3**: الحزم المستلمة من RAN (حركة مرور GTP-U الصاعدة)
- **TX N3**: الحزم المرسلة إلى RAN (حركة مرور GTP-U النازلة)
- **RX N6**: الحزم المستلمة من شبكة البيانات (IP الأصلي النازل)
- **TX N6**: الحزم المرسلة إلى شبكة البيانات (IP الأصلي الصاعد)
- **الإجمالي**: العدد الإجمالي للحزم عبر جميع الواجهات

السلوك المتوقع:

- **RX N3 ≈ TX N6**: تدفق الحزم الصاعدة من RAN إلى شبكة البيانات
- **RX N6 ≈ TX N3**: تدفق الحزم النازلة من شبكة البيانات إلى RAN
- قد تشير عدم التوازن الكبير إلى:
  - حركة مرور غير متكافئة (التنزيلات >> التحميلات)
  - فقدان الحزم أو أخطاء التوجيه
  - تكوينات توجيه خاطئة

إحصائيات XDP

تظهر إحصائيات XDP (مسار البيانات السريع) أداء معالجة الحزم على مستوى النواة.



المقاييس:

- **المُلغاة** XDP (0 خطأ (يجب أن تكون دائمًا: واجه برنامج
- **المفقودة** XDP: الحزم التي تم إسقاطها عمدًا بواسطة برنامج

- **المارة**: الحزم التي تم تمريرها إلى كومة الشبكة لمزيد من المعالجة
- **إعادة التوجيه**: الحزم التي تم إعادة توجيهها مباشرة إلى واجهة الإخراج
- **TX**: الحزم المرسلة عبر XDP

التفسير:

- **المُلغاة > 0**: مشكلة حرجة مع برنامج eBPF أو توافق النواة
- **المفقودة > 0**: إسقاطات قائمة على السياسة أو حزم غير صالحة
- **المارة مرتفعة**: معظم الحزم تمت معالجتها في كومة الشبكة (عادي)
- **إعادة التوجيه مرتفعة**: الحزم تم توجيهها مباشرة (أداء مثالي)

إحصائيات الحزم

تفصيل تحليل البروتوكول للحزم وعدد المعالجة.

عدادات البروتوكول:

- **RX ARP**: حزم بروتوكول حل العناوين
- **RX GTP ECHO**: طلب/استجابة GTP-U Echo (keepalive)
- **RX GTP OTHER**: رسائل تحكم GTP الأخرى
- **RX GTP PDU**: بيانات المستخدم المغلفة بـ GTP-U (الحركة الرئيسية)
- **RX GTP UNEXP**: أنواع حزم GTP غير المتوقعة
- **RX ICMP**: بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت (ping، الأخطاء)
- **RX ICMP6**: حزم ICMPv6
- **RX IP4**: حزم IPv4
- **RX IP6**: حزم IPv6
- **RX OTHER**: بروتوكولات أخرى
- **RX TCP**: حزم بروتوكول التحكم في النقل
- **RX UDP**: حزم بروتوكول بيانات المستخدم

حالات الاستخدام:

- **مراقبة عدد GTP-U PDU**: مؤشر رئيسي لحركة م��ور المستخدم
- **التحقق من ICMP للاتصال**: اختبار إمكانية الوصول إلى الشبكة
- **تتبع نسبة TCP مقابل UDP**: أنماط حركة مرور التطبيقات

- **الكشف عن البروتوكولات غير المتوقعة**: مشكلات الأمان أو التكوين الخاطئ

إحصائيات التوجيه

إحصائيات بحث FIB (قاعدة معلومات التوجيه) لقرارات التوجيه.

بحث FIB IPv4:

- **ذاكرة مؤقتة**: عمليات بحث التوجيه المخبأة (مسار سريع)
- **OK**: عمليات بحث التوجيه الناجحة

بحث FIB IPv6:

- **ذاكرة مؤقتة**: عمليات بحث التوجيه IPv6 المخبأة
- **OK**: عمليات بحث التوجيه IPv6 الناجحة

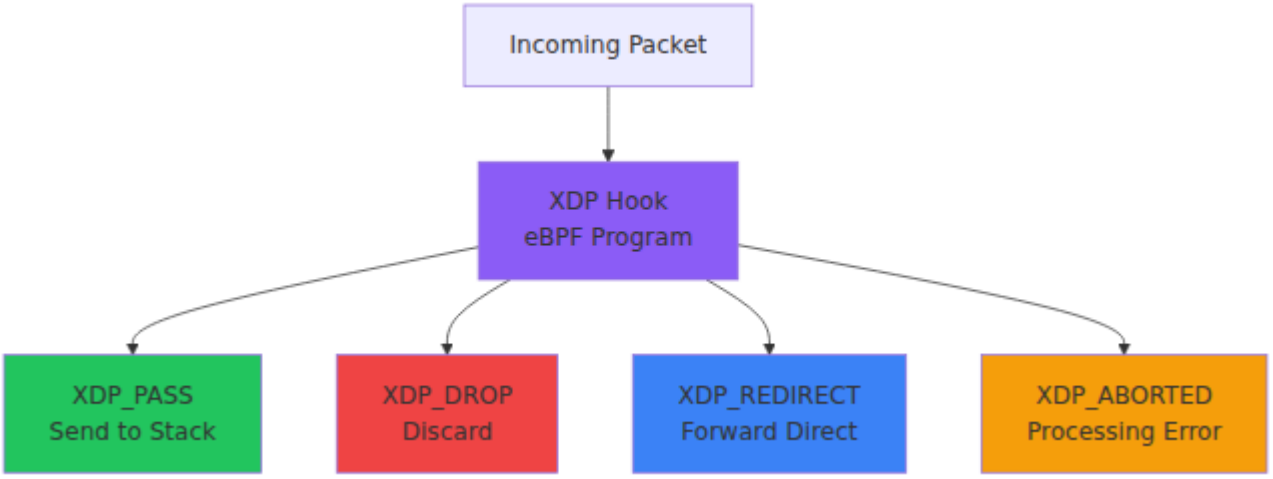
مؤشرات الأداء:

- **معدل ضربات الذاكرة المؤقتة المرتفع**: يشير إلى أداء جيد لذاكرة التوجيه المؤقتة
- **عدد OK المرتفع**: يؤكد أن جداول التوجيه تم تكوينها بشكل صحيح
- **عمليات البحث المنخفضة أو الصفرية**: قد تشير إلى عدم تدفق الحركة أو تجاوز التوجيه

مراقبة السعة

سعة خريط eBPF

مراقبة سعة خريطة eBPF تساعد في منع فشل إنشاء الجلسات بسبب استنفاد الموارد.



خرائط eBPF الحرجة

far_map (قواعد إجراء التوجيه):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف FAR)
- **حجم القيمة**: 16 ب (معلمات التوجيه)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.6 ميجابايت
- **الأهمية**: عالية - مستخدمة لجميع قرارات توجيه الحزم

pdr_map_downlin (PDRs النازلة - IPv4):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (عنوان UE IPv4)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~27 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - يفشل إنشاء الجلسة إذا كانت ممتلئة

pdr_map_downlin_ip6 (PDRs النازلة - IPv6):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 16 ب (عنوان UE IPv6)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~29 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - يفشل إنشاء الجلسة IPv6 إذا كانت ممتلئة

pdr_map_teid_ip (PDRs الصاعدة):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (TEID)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~27 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - تفشل حركة المرور الصاعدة إذا كانت ممتلئة

qer_map (قواعد تنفيذ QoS):

- **السعة**: 65,535 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف QER)
- **حجم القيمة**: 32 ب (معلمات QoS)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.3 ميجابايت
- **الأهمية**: متوسطة - تنفيذ QoS فقط

urr_map (قواعد تقارير الاستخدام):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف URR)
- **حجم القيمة**: 16 ب (عدادات الحجم)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.6 ميجابايت
- **الأهمية**: منخفضة - تؤثر فقط على الفوترة

حدود السعة

الحد	الإجراء المطلوب
0-50% (أخضر)	عملية طبيعية - لا حاجة لإجراء
50-70% (أصفر)	تحذير - راقب اتجاهات النمو، خطط لزيادة السعة
70-90% (برتقالى)	تحذير - جدولة زيادة السعة خلال أسبوع واحد
90-100% (أحمر)	حرجة - إجراء فوري مطلوب، ستفشل الجلسات الجديدة

إجراء زيادة السعة

قبل زيادة السعة:

1. مراجعة اتجاهات الاستخدام الحالية
2. تقدير معدل النمو المستقبلي

3. حساب السعة المطلوبة

خطوات زيادة سعة الخريطة:

1. إيقاف خدمة OmniUPF
2. تحديث ملف تكوين UPF بأحجام الخريطة الجديدة
3. إعادة تشغيل خدمة OmniUPF
4. التحقق من السعة الجديدة في عرض السعة
5. مراقبة إ��شاء الجلسات بنجاح

ملاحظة: تغيير سعة خريطة eBPF يتطلب إعادة تشغيل UPF ويؤدي إلى مسح جميع الجلسات الحالية.

مقاييس الأداء

راجع OmniUPF، التي يوفرها Prometheus للحصول على معلومات مفصلة حول جميع مقاييس **مرجع المقاييس**.

معدل معالجة الحزم

الحساب:

```
معدل الحزم (pps) = (فرق عدد الحزم) / (فرق الوقت بالثواني)
```

مثال:

- الأولية: 7,000 RX الحزم
- بعد 10 ثوانٍ: 17,000
- معدل الحزم pps = (17,000 - 7,000) / 10 = 1,000

أهداف الأداء:

- **صغير**: 10,000 - 100,000 pps **UPF**
- **متوسط**: 100,000 - 1,000,000 pps **UPF**
- **كبير**: 1,000,000 - 10,000,000 pps **UPF**

مؤشرات الاختناق:

- زيادة عدد XDP الملغاة
- ارتفاع استخدام وحدة المعالجة المركزية
- زيادة فقدان الحزم
- زيادة في الكمون

حساب الإنتاجية

الحساب:

```
الإنتاجية (Mbps) = (فرق عدد البايتات × 8) / (فرق الوقت بالثواني × 1,000,000)
```

مثال:

- الأولية: 500 ميجابايت RX البايتات
- بعد 60 ثانية: 800 ميجابايت
- الإنتاجية Mbps = (300 ميجابايت × 8) / (1,000,000 × 60) = 40

الإنتاجية لكل اتجاه يتم تصديرها كعدادات (`upf_n3_rx_packets_total`, `upf_n3_rx_bytes_total`, ... مكافئات N6) عند تمكين `expose_xdp_metrics`. N3 هو جانب GTP-U (gNB)، N6 هو جانب SGi (شبكة البيانات). يتم قراءة `upf_ext_stat` من مسار `_total` السحب بواسطة `Sampler` كانت القراءة لكل سحب محفزًا مثبتًا لـ (في الخلفية `virtio_net` TX-ring-wedge، 57# المشكلة)، ومغلقًا خلف العلم. نفس الحقول متاحة أيضًا عند الطلب على `/api/v1/xdp_stats` بتنسيق JSON. للحصول على التفاصيل راجع مرجع المقاييس.

تخطيط السعة:

- راقب أوقات ذروة الإنتاجية (مثل ساعات المساء)
- قارن بسعة الرابط (سرعات واجهة N3/N6)
- خطط لزيادة السعة بمقدار 2x الإنتاجية القصوى لتوفير مساحة إضافية

معدل الفقد

الحساب:

```
معدل الفقد (%) = (إجمالي الحزم المفقودة / الحزم RX) × 100
```

لحدود المقبولة:

- **< 0.1%**: ممتاز (فقدان الحزم العادي بسبب الأخطاء)
- **0.1% - 1%**: جيد (مشكلات طفيفة أو تحديد المعدل)
- **1% - 5%**: ضعيف (استكشف مشكلات QoS أو السعة)
- **> 5%**: حرجة (مشكلة كبيرة في التوجيه أو السعة)

أسباب الفقد الشائعة:

- تحديد معدل QER (تجاوز MBR)
- فشل بحث خريطة eBPF
- غير صالحة UE أو عناوين TEIDs
- أخطاء التوجيه

التنبيهات والحدود

التنبيهات الموصى بها

التنبيهات الحرجة (مطلوب استجابة فورية):

- سعة خريطة eBPF > 90%
- عدد XDP 0 < الملغاة
- 5 < معدل الفقد%
- فشل فحص صحة UPF

تنبيهات التحذير (استجابة خلال ساعة واحدة):

- سعة خريطة eBPF > 70%

- معدل الفقد > 1%
- معدل الحزم يقترب من سعة الرابط
- تجاوز TTL (حزم أقدم من 30 ثانية) للمخزن المؤقت

تنبيهات معلوماتية (راقب الاتجاهات):

- سعة خريطة eBPF > 50%
- زيادة عدد الحزم المخزنة
- إنشاء/إلغاء ارتباطات PFCP جديدة
- تجاوز حدود حجم URR

تكوين التنبيهات

يمكن تكوين التنبيهات عبر:

1. **مقاييس Prometheus**: تصدير المقاييس للمراقبة الخارجية (راجع مرجع المقاييس للحصول على القائمة الكاملة)
2. **مراقبة السجلات**: تحليل سجلات OmniUPF للأنماط الأخطاء
3. **استعلام REST API**: استعلام دوري لنقاط النهاية `/map_info`, `/packet_stats`
4. **مراقبة واجهة الويب**: المراقبة اليدوية عبر صفحات الإحصائيات والسعة

تخطيط السعة

تقدير سعة الجلسات

احسب الحد الأقصى للجلسات:

```
Max Sessions = min(
  سعة خريطة PDR / 2,  # PDRs لكل جلسة (الصاعدة + النازلة)
  سعة خريطة FAR / 2,  # FARs لكل جلسة (الصاعدة + النازلة)
  سعة خريطة QER       # QER لكل جلسة واحد، اختياري
)
```

مثال:

- سعة خريطة PDR: 131,070
- سعة خريطة FAR: 131,070
- سعة خريطة QER: 65,535

Max Sessions = min(131,070 / 2, 131,070 / 2, 65,535) = **65,535 جلسة**

سعة الذاكرة

احسب إجمالي ذاكرة خريطة eBPF:

```
الذاكرة = Σ ((حجم المفتاح + حجم القيمة) × (سعة الخريط��)
```

مثال على التكوين:

- خرائط PDR: 3 × 131,070 × 212 ميجابايت = ب 83.3
- خريطة FAR: 131,070 × 20 ميجابايت = ب 2.6
- خريطة QER: 65,535 × 36 ميجابايت = ب 2.3
- خريطة URR: 131,070 × 20 ميجابايت = ب 2.6
- **الإجمالي**: ~91 ميجابايت من ذاكرة النواة

اعتبارات ذاكرة النواة:

- تأكد من وجود حد كافٍ للذاكرة المقفلة (`ulimit -l`)
- احتفظ بمقدار 2x من الاستخدام المقدر لهامش الأمان
- راقب توافر ذاكرة النواة

سعة الحركة

احسب سعة الإنتاجية المطلوبة:

1. **تقدير متوسط إنتاجية الجلسة**:
    - بث الفيديو: ~5 Mbps
    - تصفح الويب: ~1 Mbps
    - VoIP: ~0.1 Mbps
2. **احسب الإنتاجية الإجمالية**:

```
إجمالي الإنتاجية = الجلسات × متوسط إنتاجية الجلسة
```

3. **أضف مساحة إضافية**:

```
السعة المطلوبة = إجمالي الإنتاجية × 2  # 100% مساحة إضافية
```

مثال:

- 10,000 جلسة متزامنة
- 2 متوسط Mbps لكل جلسة
- الإجمالي: 20 جي��ابت في الثانية
- السعة المطلوبة: 40 جيجابت في الثانية (واجهتي N3 + N6)

تخطيط النمو

تحليل الاتجاهات:

1. سجل عدد الجلسات القصوى اليومية
2. احسب معدل النمو الأسبوعي
3. استنتج إلى حد السعة

صيغة معدل النمو:

```
أسابيع إلى السعة = (السعة - الاستخدام الحالي) / (معدل النمو الأسبوعي)
```

مثال:

- الجلسات الحالية: 30,000
- السعة: 65,535 جلسة
- معدل النمو: 2,000 جلسة
- أسابيع إلى السعة: (65,535 - 30,000) / 2,000 = **17.8 أسبوع**

الإجراء: خطط لترقية السعة في 12 أسبوعًا (مما يترك 5 أسابيع كاحتياطي).

استكشاف مشاكل الأداء

معدل فقد الحزم المرتفع

الأعراض: معدل الفقد > 1%، شكاوى المستخدمين من ضعف الاتصال

التشخيص:

1. تحقق من الإحصائيات → إحصائيات الحزم
2. حدد ما إذا كانت الفقدان خاصة بالبروتوكول
3. راجع إحصائيات XDP لفقدان XDP مقابل الملغاة

الأسباب الشائعة:

- **تحديد معدل QER**: تحقق من قيم MBR الخاصة بـ QER مقابل حركة المرور الفعلية
- **TEIDs غير صالحة**: تحقق من أن TEID PDR تتطابق مع تعيين gNB الصاعدة
- **عناوين UE غير معروفة**: تحقق من وجود PDR النازلة لعنوان UE
- **فائض المخزن المؤقت**: تحقق من إحصائيات المخزن المؤقت

الحل:

- إذا كان هناك تحديد للمعدل QER لـ MBR زيادة
- تحقق من أن SMF قد أنشأ PDRs الصحيحة
- مسح المخازن المؤقتة إذا تم اكتشاف فائض

أخطاء معالجة XDP

الأعراض: XDP 0 < الملغاة

التشخيص:

1. انتقل إلى الإحصائيات → إحصائيات XDP
2. تحقق من عداد الملغاة
3. راجع سجلات OmniUPF لأخطاء eBPF

الأسباب الشائعة:

- فشل التحقق من برنامج eBPF
- عدم توافق إصدار النواة
- أخطاء الوصول إلى خريطة eBPF
- تلف في الذاكرة

الحل:

- إعادة تشغيل خدمة OmniUPF
- تحقق من أن إصدار النواة يلبي الحد الأدنى من المتطلبات (Linux 5.4+)
- راجع سجلات برنامج eBPF
- اتصل بالدعم إذا است��رت المشكلة

استنفاد السعة

الأعراض: فشل إنشاء الجلسات، سعة الخريطة عند 100%

التشخيص:

1. انتقل إلى صفحة السعة
2. حدد أي خريطة عند 100%
3. تحقق مما إذا كانت الجلسات عالقة (لا يتم حذفها)

التخفيف الفوري:

1. حدد الجلسات القديمة (تحقق من صفحة الجلسات)
2. اطلب من SMF حذف الجلسات القديمة
3. مسح المخازن المؤقتة لتحرير إدخالات FAR

الحل على المدى الطويل:

1. زيادة سعة خريطة eBPF
2. جدولة إعادة تشغيل UPF مع خرائط أكبر
3. تنفيذ سياسات تنظيف الجلسات

تدهور الأداء

الأعراض: ارتفاع الكمون، انخفاض الإنتاجية، تشبع وحدة المعالجة المركزية

التشخيص:

1. تحقق من معدل الحزم مقابل القاعدة التاريخية
2. راجع إحصائيات XDP لتأخيرات المعالجة
3. راقب استخدام وحدة المعالجة المركزية على مضيف UPF
4. تحقق من استخدام واجهة N3/N6

الأسباب الشائعة:

- حركة المرور تتجاوز سعة UPF
- عدم كفاية نوى وحدة المعالجة المركزية لمعالجة الحزم
- اختناق واجهة الشبكة
- تصادمات تجزئة خريطة eBPF

الحل:

- توسيع UPF أفقيًا (إضافة المزيد من الحالات)
- ترقية وحدة المعالجة المركزية أو تمكين RSS (توزيع جانب الاستلام)
- ترقية واجهات الشبكة إلى سرعة أعلى
- ضبط وظيفة تجزئة خريطة eBPF

الوثائق ذات الصلة

- **مرجع المقاييس** Prometheus - مرجع كامل لمقاييس
- **دليل عمليات UPF** - الهيكل العام وعمليات UPF
- **دليل إدارة القواعد** - تكوين PDR، FAR، QER، URR
- **دليل عمليات واجهة الويب** - ميزات مراقبة لوحة التحكم
- **دليل استكشاف الأخطاء** - المشكلات الشائعة والتشخيصات
- **دليل الهيكلية** - مسار بيانات eBPF وتحسين الأداء

مرجع رموز أسباب PFCP

نظرة عامة

رموز الأسباب في رسائل الاستجابة للإشارة (PFCP) يستخدم بروتوكول التحكم في تحويل الحزم ومتى تحدث أثناء OmniUPF إلى نتيجة الطلبات. يصف هذا المستند رموز الأسباب المطبقة في معالجة رسائل PFCP.

3GPP TS 129.244 ويتم إرجاعها في رسائل استجابة تتوافق جميع رموز الأسباب مع مواصفات PFCP للإشارة إلى النجاح أو الفشل أو ظروف الخطأ المحددة.

مراقبة رموز الأسباب

يتتبع OmniUPF نتائج رسائل PFCP باستخدام مقاييس Prometheus. تتضمن كل استجابة PFCP رمز سبب يتم تسجيله في:

```
upf_pfcp_rx_errors{message_name="...", cause_code="...",
peer_address="..."}
```

يسمح ذلك بمراقبة:

- في مستوى التحكم node لكل نوع رسالة و **معدلات النجاح**
- **أنم��ط الأخطاء** التي تشير إلى تكوينات خاطئة أو مشكلات بروتوكول
- **صحة الارتباط** بناءً على معدلات الرفض

انظر PFCP. للحصول على الوثائق الكاملة لمقاييس مرجع المقاييس

فئات رموز الأسباب

رموز النجاح

الرمز	الاسم	متى يحدث
1	**RequestAccepted**	تم معالجة الطلب بنجاح. جميع عناصر المعلومات الإلزامية موجودة وصحيحة. تم إنشاء/تعديل/حذف القواعد بنجاح.

رموز أخطاء العميل

الرمز	الاسم	متى يحدث
64	**RequestRejected**	رفض عام لأخطاء غير محددة. يستخدم عندما لا ينطبق رمز سبب محدد.
65	**SessionContextNotFound**	تم طلب تعديل أو حذف جلسة ل SEID غير معروف. الجلسة المحددة غير موجودة على هذا UPF.
66	**MandatoryIEMissing**	عنصر المعلومات المطلوب مفقود. أمثلة: NodeID مفقود في إعداد الارتباط، F-SEID مفقود في إنشاء الجلسة، RecoveryTimeStamp مفقود.
67	**ConditionalIEMissing**	عنصر المعلومات المطلوب بشكل شرطي مفقود بناءً على عناصر المعلومات الأخرى الموجودة. يستخدم عندما تعتمد عناصر المعلومات على وجود بعضها البعض.
69	**MandatoryIEIncorrect**	عنصر المعلومات المطلوب موجود ولكنه يحتوي على بيانات غير صالحة. أمثلة: تنسيق NodeID غير قابل للتحليل، قيمة RecoveryTimeStamp غير صالحة، F-SEID مشوه.
72	**NoEstablishedPFCPAssociation**	تم محاولة إجراء عملية جلسة بدون ارتباط نشط. يجب إنشاء ارتباط PFCP قبل إنشاء الجلسات.
73	**RuleCreationModificationFailure**	خطأ في تطبيق قواعد FAR أو PDR أو QER أو URR على مسار بيانات

الرمز	الاسم	متى يحدث
		الأسباب المحتملة: امتلاء eBPF. معلمات قاعدة eBPF، سعة خريطة غير صالحة، فشل تخصيص الموارد.

رموز أخطاء الخادم/المورد

الرمز	الاسم	متى يحدث
74	**PFCPEntityInCongestion**	يعاني UPF من حمل مرتفع أو استنفاد الموارد. غير قادر مؤقتًا على معالجة الطلبات.
75	**NoResourcesAvailable**	موارد غير كافية لتلبية الطلب. أمثلة: امتلاء eBPF، سعة خريطة فشل تخصيص الذاكرة، نفاد مجموعة TEID.
77	**SystemFailure**	خطأ داخلي حرج يمنع معالجة الطلب. أمثلة: eBPF، خطأ في واجهة النواة، فشل برنامج تلف قاعدة البيانات.

رموز الميزات غير المدعومة

الرمز	الاسم	متى يحدث
68	**InvalidLength**	لا يتطابق مع الطول IE حقل طول الفعلي للبيانات. غير مستخدم حاليًا في OmniUPF.
70	**InvalidForwardingPolicy**	سياسة التوجيه غير مدعومة من قبل UPF. غير مستخدم حاليًا في OmniUPF.
71	**InvalidFTEIDAllocationOption**	غير مدعوم. غير F-TEID خيار تخصيص مستخدم حاليًا في OmniUPF.
76	**ServiceNotSupported**	الخدمة أو الميزة المطلوبة غير مطبقة. غير مستخدم حاليًا في OmniUPF.
78	**RedirectionRequested**	يطلب إعادة التوجيه إلى مثيل UPF آخر. غير مستخدم حاليًا في UPF OmniUPF.

السيناريوهات والأسباب الشائعة

فشل إعداد ��لارتباط

السيناريو: NodeID مفقود

```
SMF → UPF: Association Setup Request (no NodeID)
UPF → SMF: Association Setup Response (Cause: MandatoryIEMissing)
```

الحل: تأكد من أن SMF يتضمن عنصر NodeID في جميع طلبات إعداد الارتباط.

السيناريو: تنسيق NodeID غير صالح

```
SMF → UPF: Association Setup Request (NodeID="invalid")
UPF → SMF: Association Setup Response (Cause:
MandatoryIEIncorrect)
```

الحل: يجب أن يكون NodeID عنوان FQDN صالح أو عنوان IPv4/IPv6.

السيناريو: الطابع الزمني للاسترداد مفقود

```
SMF → UPF: Association Setup Request (no RecoveryTimeStamp)
UPF → SMF: Association Setup Response (Cause: MandatoryIEMissing)
```

الحل: تضمين RecoveryTimeStamp في طلب إعداد الارتباط.

فشل إنشاء الجلسة

السيناريو: لا يوجد ارتباط تم إنشاؤه

```
SMF → UPF: Session Establishment Request
UPF → SMF: Session Establishment Response (Cause:
NoEstablishedPFCPAssociation)
```

الحل: إنشاء ارتباط PFCP قبل إنشاء الجلسات.

السيناريو: فشل إنشاء القاعدة

```
SMF → UPF: Session Establishment Request
UPF processes FARs, QERs, URRs successfully
UPF fails to create PDR (eBPF map full)
UPF → SMF: Session Establishment Response (Cause:
RuleCreationModificationFailure)
```

الحل:

- تحقق من سعة خريطة eBPF (انظر مراقبة السعة)
- زيادة أحجام الخرائط في تكوين UPF
- تقليل عدد الجلسات النشطة

السيناريو: F-SEID مفقود

```
SMF → UPF: Session Establishment Request (no CP F-SEID)
UPF → SMF: Session Establishment Response (Cause:
MandatoryIEMissing)
```

الحل: تضمين CP F-SEID في طلب إنشاء الجلسة.

فشل تعديل الجلسة

السيناريو: SEID غير معروف

```
SMF → UPF: Session Modification Request (SEID=12345)
UPF has no session with SEID 12345
UPF → SMF: Session Modification Response (Cause:
SessionContextNotFound)
```

الحل:

- تحقق من أن SEID يتطابق مع القيمة من استجابة إنشاء الجلسة
- تحقق مما إذا كانت الجلسة قد تم حذفها بالفعل
- تأكد من استخدام مثيل UPF الصحيح (سيناريوهات حلقة N9)

فشل حذف الجلسة

السيناريو: SEID غير معروف

```
SMF → UPF: Session Deletion Request (SEID=67890)
UPF has no session with SEID 67890
UPF → SMF: Session Deletion Response (Cause:
SessionContextNotFound)
```

الحل: قد يكون SEID قد تم حذفه بالفعل أو لم يكن موجودًا أبدًا.

استكشاف الأخطاء باستخدام رموز الأسباب

استخدام مقاييس Prometheus

استعلام Prometheus لتحديد أنماط الأخطاء:

```
# معدل الأخطاء حسب رمز السبب
rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"}[5m])

# الأسباب الرئيسية للرفض
topk(5, sum by (cause_code) (upf_pfcp_rx_errors))

# الأخطاء حسب نظير SMF
sum by (peer_address, cause_code)
(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"})

# فشل إنشاء الجلسات
upf_pfcp_rx_errors{message_name="SessionEstablishmentRequest",
cause_code!="RequestAccepted"}
```

استخدام واجهة الويب

انتقل إلى صفحة **الجلسات** لعرض:

- عدد الجلسات النشطة لكل node في مستوى التحكم
- معدلات نجاح/فشل إنشاء الجلسة
- الأخطاء الأخيرة في الجلسة

انتقل إلى صفحة **السعة** لتشخيص:

- استخدام خريطة eBPF (سبب الجذر لفشل إنشاء ال��اعدة)
- مؤشرات استنفاد الموارد

انظر دليل واجهة الويب للحصول على تعليمات المراقبة التفصيلية.

خطوات تصحيح الأخطاء الشائعة

معدل مرتفع من MandatoryIEMissing:

1. تحقق من تكوين SMF لعناصر المعلومات المطلوبة
2. تحقق من توافق إصدار مكتبة PFCP
3. راجع سجلات SMF لأخطاء بناء عناصر المعلومات

فشل متكرر في RuleCreationModificationFailure:

1. تحقق من سعة خريطة eBPF: `GET /api/v1/map_info`
2. راقب استخدام الخريطة: `upf_ebpf_map_used / upf_ebpf_map_capacity`
3. زيادة أحجام الخرائط في التكوين إذا كانت > 70% مستخدمة
4. انظر تخطيط السعة

أخطاء NoEstablishedPFCPAssociation:

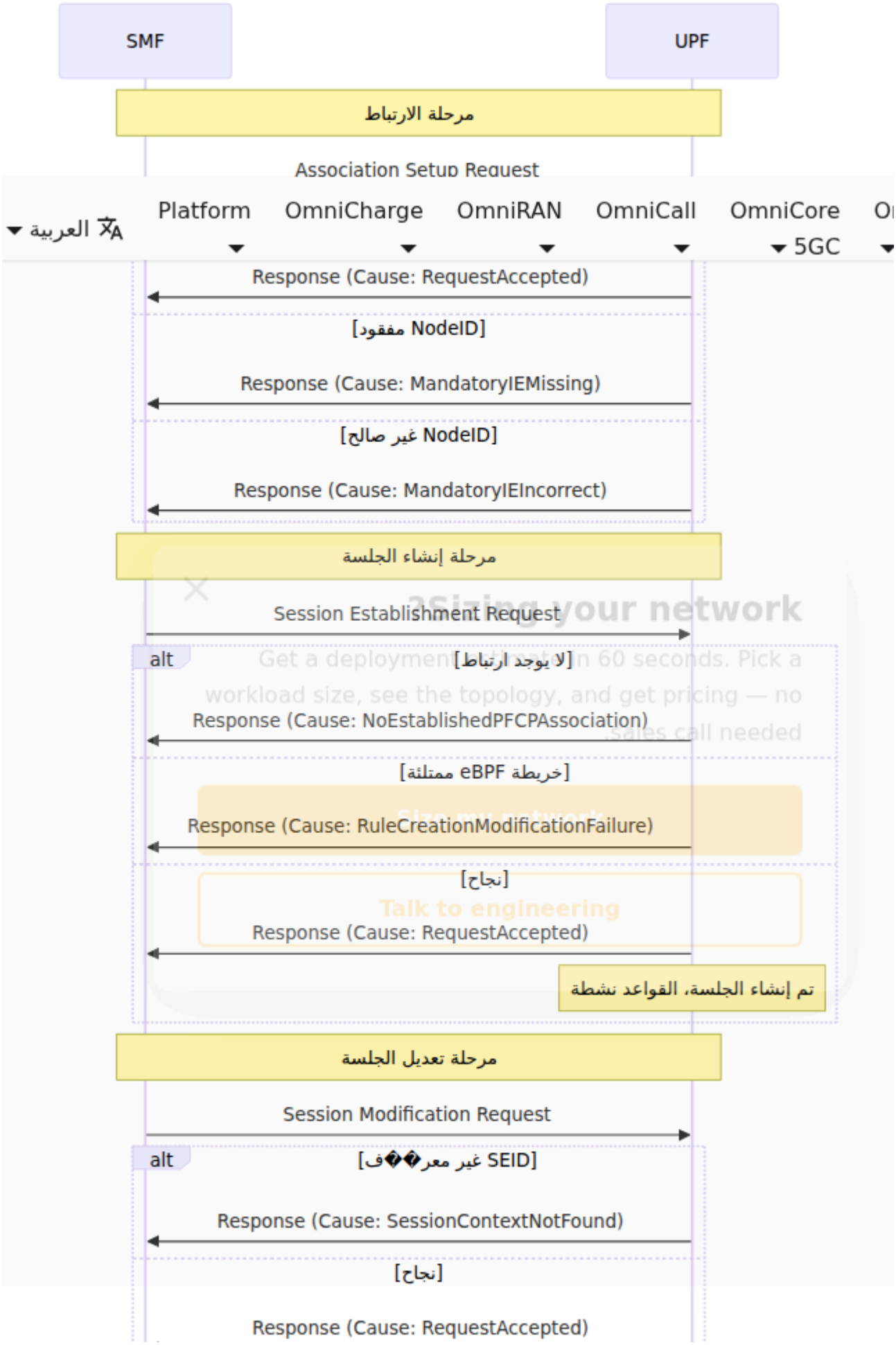
1. تحقق من وجود الارتباط: `GET /api/v1/pfcp_associations`
2. تحقق من تكوين مهلة نبضات القلب
3. راجع سجلات إعداد الارتباط
4. تأكد من أن SMF و UPF يمكنهما الوصول إلى بعضهما البعض

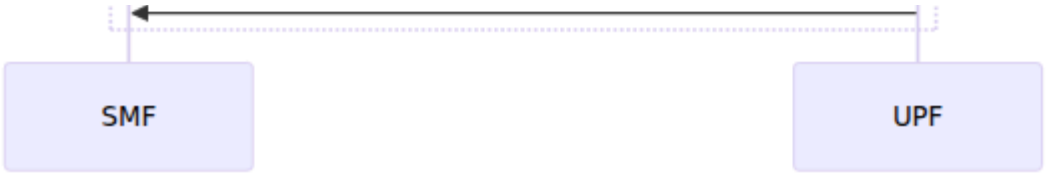
عند التعديل SessionContextNotFound:

1. تحقق من SEID من استجابة إنشاء الجلسة
2. تحقق مما إذا كانت الجلسة قد حذفت
3. تأكد من استخدام نقطة نهاية UPF الصحيحة بالنسبة لحلقة N9:
4. استعلام الجلسات النشطة: `GET /api/v1/pfcp_sessions`

تأثير رمز السبب على العمليات

دورة حياة الجلسة


SMF
UPF
مرحلة الارتباط
Association Setup Request
العربية
Platform
OmniCharge
OmniRAN
OmniCall
OmniCore
5GC
Response (Cause: RequestAccepted)
[NodeID مفقود]
Response (Cause: MandatoryIEMissing)
[NodeID غير صالح]
Response (Cause: MandatoryIEIncorrect)
مرحلة إنشاء الجلسة
Session Establishment Request
alt
[لا يوجد ارتباط]
Response (Cause: NoEstablishedPFCPAssociation)
[خريطة eBPF ممتلئة]
Response (Cause: RuleCreationModificationFailure)
[نجاح]
Response (Cause: RequestAccepted)
تم إنشاء الجلسة، القواعد نشطة
مرحلة تعديل الجلسة
Session Modification Request
alt
[SEID غير معر��ف]
Response (Cause: SessionContextNotFound)
[نجاح]
Response (Cause: RequestAccepted)



المقاييس والتنبيه

التنبيهات الموصى بها:

```
# حرج: معدل رفض مرتفع
- alert: PfcpHighRejectionRate
  expr: |
    rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"}[5m]) > 0.1
  annotations:
    summary: "معدل رفض PFCP مرتفع: {{ $value }}/s"

# تحذير: مشكلات السعة
- alert: PfcpRuleCreationFailures
  expr: |

rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code="RuleCreationModificationFailure"}
[5m]) > 0
  annotations:
    summary: "تم الكشف عن فشل إنشاء قواعد PFCP"

# تحذير: مشكلات الارتباط
- alert: PfcpNoAssociation
  expr: |

rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code="NoEstablishedPFCPAssociation"}
[5m]) > 0
  annotations:
    summary: "بدون ارتباط PFCP تمت محاولة جلسات"
```

الامتثال لمعايير 3GPP

تنفذ OmniUPF رموز الأسباب وفقًا لـ:

- **3GPP TS 129.244 v16.4.0** - مواصفة PFCP
- **القسم 8.2.1** IE السبب - تعريف

- جدول قيم الأسباب - **القسم 8.19**

الوثائق ذات الصلة

- **تكامل بروتوكول PFCP** - بنية PFCP وتعامل الرسائل
- **مرجع المقاييس** - وثائق مقياس upf_pfcp_rx_errors
- **دليل المراقبة** - مراقبة السعة والتنبيه
- **دليل استكشاف الأخطاء** - مشكلات ارتباط PFCP والجلسة
- **دليل واجهة الويب** - مراقبة الجلسات والارتباطات

دليل إدارة القواعد

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. قواعد اكتشاف الحزم (PDR)
3. قواعد إجراء التوجيه (FAR)
4. قواعد فرض جودة الخدمة (QER)
5. قواعد تقارير الاستخدام (URR)
6. علاقات القواعد
7. العمليات الشائعة
8. استكشاف الأخطاء وإصلاحها

نظرة عامة

تستخدم OmniUPF مجموعة من القواعد المترابطة لتصنيف وتوجيه وتشكيل وتتبع حركة مرور المستخدم. يتم تثبيت هذه القواعد بواسطة SMF عبر PFCP وتخزينها في خرائط eBPF لمعالجة الحزم عالية الأداء. فهم هذه القواعد وعلاقاتها أمر بالغ الأهمية لتشغيل واستكشاف الأخطاء في UPF.

أنواع القواعد

نوع القاعدة	الغرض	الحقل الرئيسي	المثبت بواسطة
PDR (قاعدة اكتشاف الحزمة)	تصنيف الحزم إلى تدفقات	TEID أو عنوان IP لـ UE	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
FAR (قاعدة إجراء التوجيه)	تحديد إجراء التوجيه	FAR ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
QER (قاعدة فرض جودة الخدمة)	تطبيق حدود النطاق الترددي والتوسيم	QER ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
URR (قاعدة تقارير الاستخدام)	تتبع أحجام البيانات للرسوم	URR ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP

تدفق معالجة القواعد





قواعد اكتشاف الحزم (PDR)

الغرض

تقوم PDRs بتصنيف الحزم الواردة إلى تدفقات حركة مرور. إنها نقطة الدخول لجميع معالجة الحزم في UPF.

هيكل PDR





PDRs الرفع

تطابق PDRs الرفع الحزم التي تصل إلى واجهة N3 من RAN.

الحقل الرئيسي: TEID (معرف نقطة النفق)

- عدد صحيح غير موقع 32 بت
- يتم تعيينه بواسطة SMF وإشعاره إلى gNB
- فريد لكل تدفق حركة مرور UE

حقول القيمة:

- **FAR ID**: مرجع لقواعد إجراء التوجيه
- **QER ID**: مرجع لقواعد فرض جودة الخدمة (اختياري)
- **URR IDs**: قائمة بقواعد تقارير الاستخدام (اختياري)
- **إزالة الرأس الخارجي**: علامة لإزالة تغليف GTP-U

عملية البحث:

1. استخراج TEID من رأس GTP-U
2. بحث تجزئة في خريطة eBPF `uplink_pdr_map`
3. إذا تم العثور على مطابقة، استرجع FAR ID و QER ID و URR IDs
4. إذا لم توجد مطابقة، إسقاط الحزمة

مثال:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
وضع SDF: لا SDF
```

PDRs النزول

تطابق PDRs النزول الحزم التي تصل إلى واجهة N6 من شبكة البيانات.

الحقل الرئيسي: عنوان IP لـ UE

- عنوان IPv4 (32 بت) أو عنوان IPv6 (128 بت)
- يتم تعيينه بواسطة SMF أثناء إنشاء جلسة PDU
- فريد لكل UE

حقول القيمة:

- **FAR ID**: مرجع لقواعد إجراء التوجيه
- **QER ID**: مرجع لقواعد فرض جودة الخدمة (اختياري)
- **URR IDs**: قائمة بقواعد تقارير الاستخدام (اختياري)
- **وضع SDF**: وضع مرشح تدفق البيانات الخدمة
  - `لا SDF`: لا تصفية، جميع الحركة تتطابق
  - `SDF فقط`: يتم توجيه الحركة المتطابقة فقط

    - `SDF + افتراضي`: تستخدم الحركة المتطابقة SDF قواعد محددة، بينما ال��فتراضي FAR تستخدم الحركة الأخرى
- **مرشحات SDF**: مرشحات محددة للتطبيق (IP المنافذ، البروتوكولات، نطاقات)

عملية البحث:

1. استخراج عنوان IP الوجهة من رأس الحزمة
2. بحث تجزئة في `downlink_pdr_map` (IPv4) أو `downlink_pdr_map_ip6` (IPv6)
3. إذا تم العثور على مطابقة، تحقق من مرشحات SDF (إذا تم تكوينها)
4. استرجع FAR ID و QER ID و URR IDs
5. إذا لم توجد مطابقة، إسقاط الحزمة

مثال:

```
عنوان IP لـ UE: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
وضع SDF: لا SDF
```

مرشحات SDF (تدفق البيانات الخدمة)

توفر مرشحات SDF تصنيف حركة المرور المحددة للتطبيق داخل PDR.

حالات الاستخدام:

- تمييز حركة مرور YouTube عن تصفح الويب
- مقابل البيانات ذات الجهد الأفضل VoIP مختلف على QoS تطبيق
- توجيه تطبيقات معينة عبر مسارات شبكة مختلفة

معايير التصفية:

- **البروتوكول**: TCP، UDP، ICMP
- **نطاق المنافذ**: المنافذ الوجهة (مثل 443 لـ HTTPS، 5060 لـ SIP)
- **نطاق عنوان IP**: الشبكات الوجهة المحددة
- **وصف التدفق**: قوالب التدفق المعرفة بواسطة 3GPP

مثال على تكوين SDF:

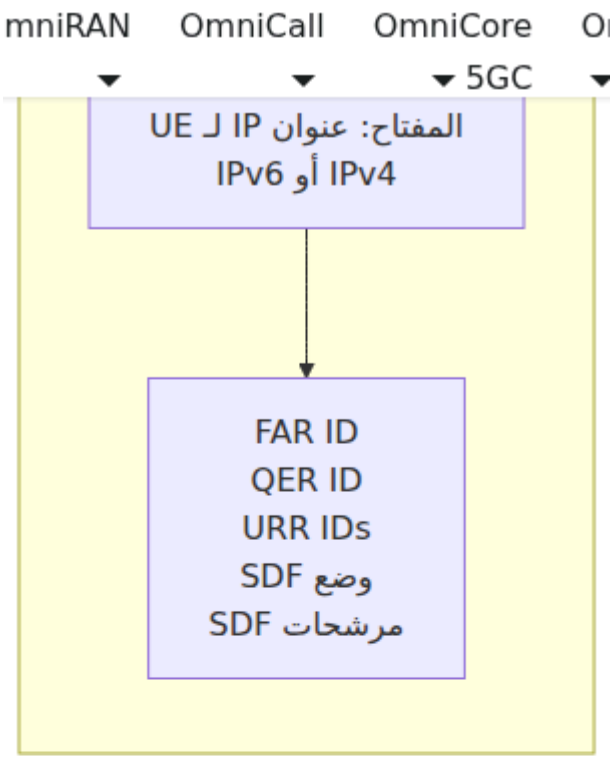
```
PDR ID: 10
عنوان IP لـــ UE: 10.45.0.1
وضع SDF: SDF فقط
مرشحات SDF:
  - البروتوكول: UDP، 5061-5060 :المنافذ → FAR ID 5 (FAR VoIP)
  - البروتوكول: TCP، 443 :المنفذ → FAR ID 1 (FAR الافتراضي)
```

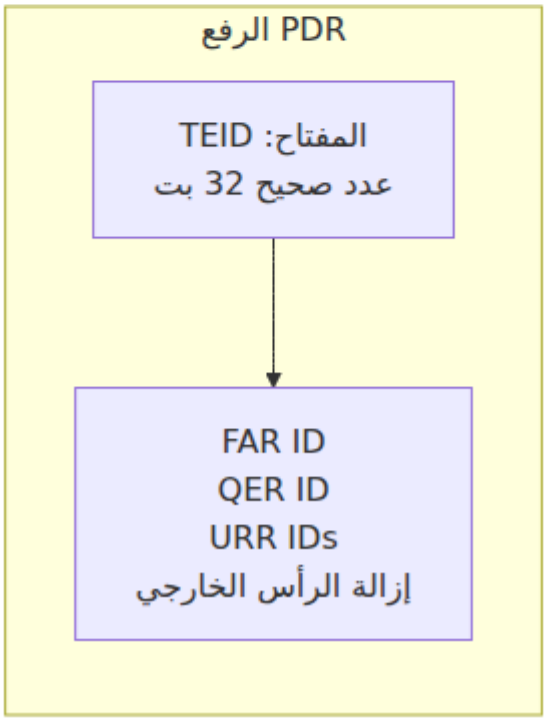
قواعد إجراء التوجيه (FAR)

الغرض

تحدد FARs ما يجب فعله مع الحزم التي تتطابق مع PDR. إنها تعرف إجراءات التوجيه، ومعلمات تغليف GTP-U، ونقاط النهاية الوجهة.

هيكل FAR





أعلام الإجراء

تعتبر إجراءات FAR أعلام بتية يمكن دمجها:

العلم	البت	القيمة	الوصف
FORWARD	1	2	توجيه الحزمة إلى الوجهة
BUFFER	2	4	تخزين الحزمة في المخزن
DROP	0	1	تجاهل الحزمة
NOTIFY	3	8	إرسال إشعار إلى مستوى التحكم
DUPLICATE	4	16	تكرار الحزمة إلى وجهات متعددة

تركيبات الإجراء الشائعة:

- `الإجراء: 2 (FORWARD)` - توجيه عادي (الأكثر شيوعًا)
- `الإجراء: 6 (FORWARD + BUFFER)` - توجيه وتخزين أثناء الانتقال
- `الإجراء: 4 (BUFFER)` - تخزين فقط (أثناء تبديل المسار)
- `الإجراء: 1 (DROP)` - إسقاط الحزمة (نادراً، عادةً لفرض السياسة)

التحكم في التخزين

تتحكم علامة BUFFER (بت 2) في تخزين الحزم أثناء الأحداث المتنقلة. يعتبر التخزين ميزة حيوية في UPF تمنع فقدان الحزم أثناء انتقالات حالة UE.

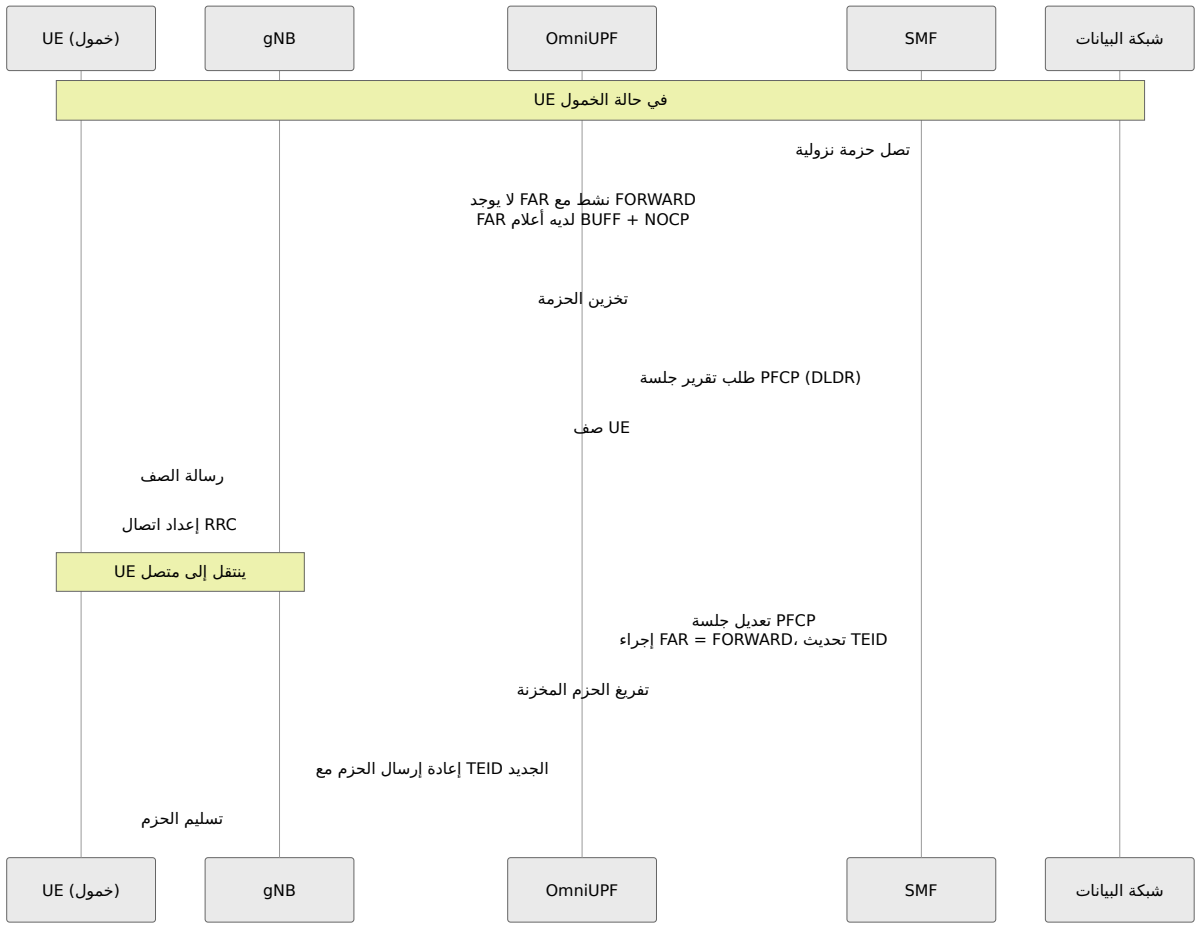
متى يتم استخدام التخزين

الانتقال من الخمول إلى الاتصال: عندما تصل الحزم النزولية إلى UE في حالة الخمول (غير متصل بـ gNB)، يقوم UPF:

1. بتخزين الحزم
2. بإرسال إشعار بيانات النزول (DLDR) إلى SMF
3. يقوم SMF بصف UE للاستيقاظ والاتصال
4. بمجرد الاتصال، يقوم SMF بتحديث FAR بإجراء FORWARD
5. يقوم UPF بتفريغ الحزم المخزنة إلى UE

الانتقال (متصل إلى متصل): أثناء الانتقال من gNB إلى gNB، يقوم UPF مؤقتًا بتخزين الحزم لمنع الفقد:

1. يتم إسقاط الاتصال القديم لـ gNB
2. يقوم SMF بتعيين إجراء FAR إلى BUFFER
3. تتجمع الحزم أثناء تبديل المسار
4. يتصل UE بـ gNB الجديد
5. يقوم SMF بتحديث FAR مع TEID جديد وإجراء FORWARD
6. يقوم UPF بتفريغ الحزم إلى gNB الجديد



سعة التخزين والحدود

الحدود العالمية للتخزين:

- **الحد الأقصى لعدد الحزم الكلي**: 100,000 (قابل للتكوين)
- **الحد الأقصى لعدد البايتات الكلي**: بناءً على الذاكرة المتاحة
- **TTL (مدة الحياة)**: 60 ثانية (قابل للتكوين)
- **الحزم التي تتجاوز TTL**: يتم إسقاطها تلقائيًا

حدود لكل FAR:

- **الحد الأقصى لعدد الحزم لكل FAR**: 10,000 (قابل للتكوين)
- **الغرض**: منع واحد من استنفاد سعة التخزين FAR

سلوك تجاوز التخزين:

- يتم إسقاط الحزم الجديدة، FAR عندما يتم الوصول إلى الحد العالمي أو الحد لكل
- تتبع المقاييس الإسقاطات مع `reason="global_limit"` أو `reason="far_limit"`
- لا يتم طرد الحزم الأقدم تلقائيًا (إسقاط صريح فقط عند انتهاء TTL)

إشعار بيانات النزول (DLDR)

عندما يقوم UPF بتخزين حزمة لـ UE في حالة الخمول، فإنه يرسل طلب تقرير جلسة PFCP إلى SMF:

محتويات DLDR:

- **نوع التقرير**: تقرير بيانات النزول (DLDR)
- **FAR ID**: FAR الذي أدى إلى التخزين
- **معلومات خدمة بيانات النزول**: QFI الاختياري، مؤشر سياسة الصف

إجراءات SMF على DLDR:

1. صف UE عبر AMF → gNB
2. انتظر حتى يقوم UE بإنشاء اتصال RRC
3. إرسال طلب تعديل جلسة PFCP لتحديث FAR
4. يتغير إجراء FAR من `BUFF+NOCP` إلى `FORW`
5. يقوم UPF بتفريغ الحزم المخزنة

المقاييس لـ DLDR:

- `upf_dldr_sent_total`: إجمالي DLDRs المرسلة
- `upf_dldr_send_errors`: DLDRs الفاشلة
- `upf_buffer_notify_to_flush_duration_seconds`: زمن الانتقال من DLDR إلى التفريغ

راجع مرجع المقاييس للحصول على القائمة الكاملة.

عمليات التخزين

تمكين التخزين (تعيين علامة BUFF):

- إجراء FAR `|= 0x04` (تعيين بت 2)
- مثال: `الإجراء: 2 (FORW)` → `الإجراء: 6 (FORW+BUFF)`
- يستخدم أثناء التحضير للانتقال

وضع التخزين فقط (BUFF بدون FORW):

- إجراء FAR `= 0x04` (BUFF فقط)
- يتم تخزين الحزم ولكن لا يتم توجيهها
- يستخدم لحالة UE (في انتظار الصف) في الخمول

تعطيل التخزين (مسح علامة BUFF):

- إجراء FAR `&= ~0x04` (مسح بت 2)
- مثال: `الإجراء: 6 (FORW+BUFF)` → `الإجراء: 2 (FORW)`
- تبقى الحزم المخزنة حتى يتم تفريغها أو مسحها

تفريغ المخزن:

- إعادة إرسال جميع الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR **الحالية**
- يتم توجيه الحزم مع TEID/وجهة محدثة
- يتم إفراغ المخزن بعد التفريغ الناجح
- يجب أن يكون لدى إجراء FAR مضبوط FORW

مسح المخزن:

- تجاهل جميع الحزم المخز��ة دون توجيه
- ستخدم عندما يفشل الانتقال أو يتم حذف الجلسة��
- تتبع المقاييس مع `reason="cleared"`

مراقبة الحزم المخزنة

صفحات المخازن (واجهة الويب): انتقل إلى **المخازن** لعرض:

- إجمالي الحزم المخزنة
- إجمالي البايتات المخزنة
- عدد FARs مع حزم مخزنة

- عدد الحزم لكل FAR
- الطابع الزمني لأقدم حزمة
- تمكين/تعطيل التخزين لكل FAR
- عمليات التفريغ أو المسح

المؤشرات الرئيسية:

- **الحزم > 10 ثوانٍ قديمة**: تأخير محتمل في الصف
- **الحزم > 30 ثوانٍ قديمة**: فشل محتمل في الصف، امسح المخزن
- **عدد الحزم العالي**: تحقق من الجلسات العالقة أو فشل الصف

مقاييس Prometheus:

- `upf_buffer_packets_current`: الحزم المخزنة الحالية
- `upf_buffer_bytes_current`: البايتات المخزنة الحالية
- `upf_buffer_fars_active`: FARs مع حزم مخزنة
- `upf_buffer_packets_dropped{reason}`: عدد الحزم المفقودة

راجع مرجع المقاييس للحصول على المقاييس الكاملة للمخزن.

سيناريوهات التخزين الشائعة

السيناريو 1: بيانات النزول لـ UE في حالة الخمول

```
الحالة الأولية:
- UE في وضع الخمول (لا اتصال بـ gNB)
- إجراء FAR: 0x04 (BUFF فقط)

وصول البيانات:
1. ترسل DN حزمة نزولية
2. تطابق UPF PDR، تطبق FAR
3. FAR لديه علامة BUFF → تم تخزين الحزمة
4. ترسل UPF DLDR إلى SMF
5. يقوم SMF بصف UE
6. يتصل UE بـ gNB
7. يقوم SMF بتعديل FAR: 0 = الإجراء0x02 (FORW)
8. يقوم UPF بتفريغ الحزم المخزنة مع TEID الجديد
```

السيناريو 2: التحضير للانتقال

```
الحالة الأولية:
- UE متصل بـ gNB-1 (TEID 1234)
- إجراء FAR: 0x02 (FORW)

عملية الانتقال:
1. يقوم SMF بتعديل FAR: 0 = الإجراء0x06 (FORW+BUFF)
2. يتم توجيه الحزم إلى gNB-1 وتخزينها
3. يتحول UE إلى gNB-2
4. يقوم SMF بتعديل FAR: TEID = 5678، 0 = الإجراء0x02 (FORW)
5. يقوم UPF بتفريغ الحزم المخزنة إلى gNB-2 مع TEID الجديد
6. لا يوجد فقد للحزم أثناء الانتقال
```

السيناريو 3: تبديل المسار

```
الحالة الأولي:
- UE متصل، تدفق بيانات نشط

تبديل المسار:
1. يقوم SMF بتعديل FAR: 0 = الإجراء0x04 (BUFF فقط)
2. يتم تخزين جميع الحزم الواردة (لا يتم توجيهها)
3. يعيد الشبكة تكوين المسار
4. يقوم SMF بتعديل FAR: 0 = الإجراء0x02 (FORW)، وجهة جديدة
5. يقوم UPF بتفريغ جميع الحزم المخزنة إلى المسار الجديد
```

إنشاء الرأس الخارجي

يحدد ما إذا كان يجب إضافة تغليف GTP-U.

FAR الرفع (N3 → N6):

- إنشاء الرأس الخارجي: خطأ
- الإجراء: إزالة GTP-U، توجيه حزمة IP الأصلية

FAR النزول (N6 → N3):

- إنشاء الرأس الخارجي: صحيح
- عنوان IP البعيد: عنوان IP لـ gNB (مثل 198.51.100.10)
- TEID: معرف النفق لحركة مرور UE
- الإجراء: إضافة رأس GTP-U، توجيه إلى gNB

بحث FAR في واجهة الويب

توفر صفحة إدارة القواعد بحث FAR حسب ID:

الخطوات:

1. انتقل إلى القواعد → علامة FARs
2. أدخل FAR ID في حقل البحث
3. انقر على "بحث" لعرض تفاصيل FAR

المعلومات المعروضة:

- FAR ID
- الإجراء (رقمي + أعلام مفككة)
- حالة التخزين (تشغيل/إيقاف)
- إنشاء الرأس الخارجي
- عنوان IP البعيد (مع التمثيل العددي)
- TEID
- تحديد المستوى الناقل

قواعد فرض جودة الخدمة (QER)

الغرض

تطبق QERs معلمات جودة الخدمة على تدفقات حركة المرور، بما في ذلك حدود النطاق الترددي وتوسيم الحزم.

هیکل QER

معلمات QER

QFI
معرف تدفق QoS

حالة البوابة UL
مفتوح/مغلق

حالة البوابة DL
مفتوح/مغلق

الرفع MBR
الحد الأقصى لمعدل البت

QER ID
معرف فريد

النزول MBR
الحد الأقصى لمعدل البت

الرفع GBR
معدل البت المضمون

النزول GBR
معدل البت المضمون

معلمات QoS

QFI (معرف تدفق QoS):

- معرف QoS 5 في 6 بت لتدفقات 5G
- القيم من 1 إلى 9 موحدة (مثل QFI 9 = حامل افتراضي)
- تستخدم لتوسيم الحزم في 5GC

حالة البوابة:

- **مفتوح (0)**: مسموح بحركة المرور
- **مغلق (غير صفري)**: محجوز حركة المرور

الحد الأقصى لمعدل البت (MBR):

- الحد الأقصى للنطاق الترددي المسموح به لتدفق حركة المرور
- محدد بالكيلوبت في الثانية
- **MBR = 0**: لا حد للمعدل (غير محدود)
- يتم إسقاط الحركة التي تتجاوز MBR

معدل البت المضمون (GBR):

- الحد الأدنى للنطاق الترددي المضمون لتدفق حركة المرور
- محدد بالكيلوبت في الثانية
- **GBR = 0**: جهد أفضل (لا ضمان)
- **GBR > 0**: تدفق ذو أولوية مع نطاق ترددي مضمون

أنواع تدفقات QoS

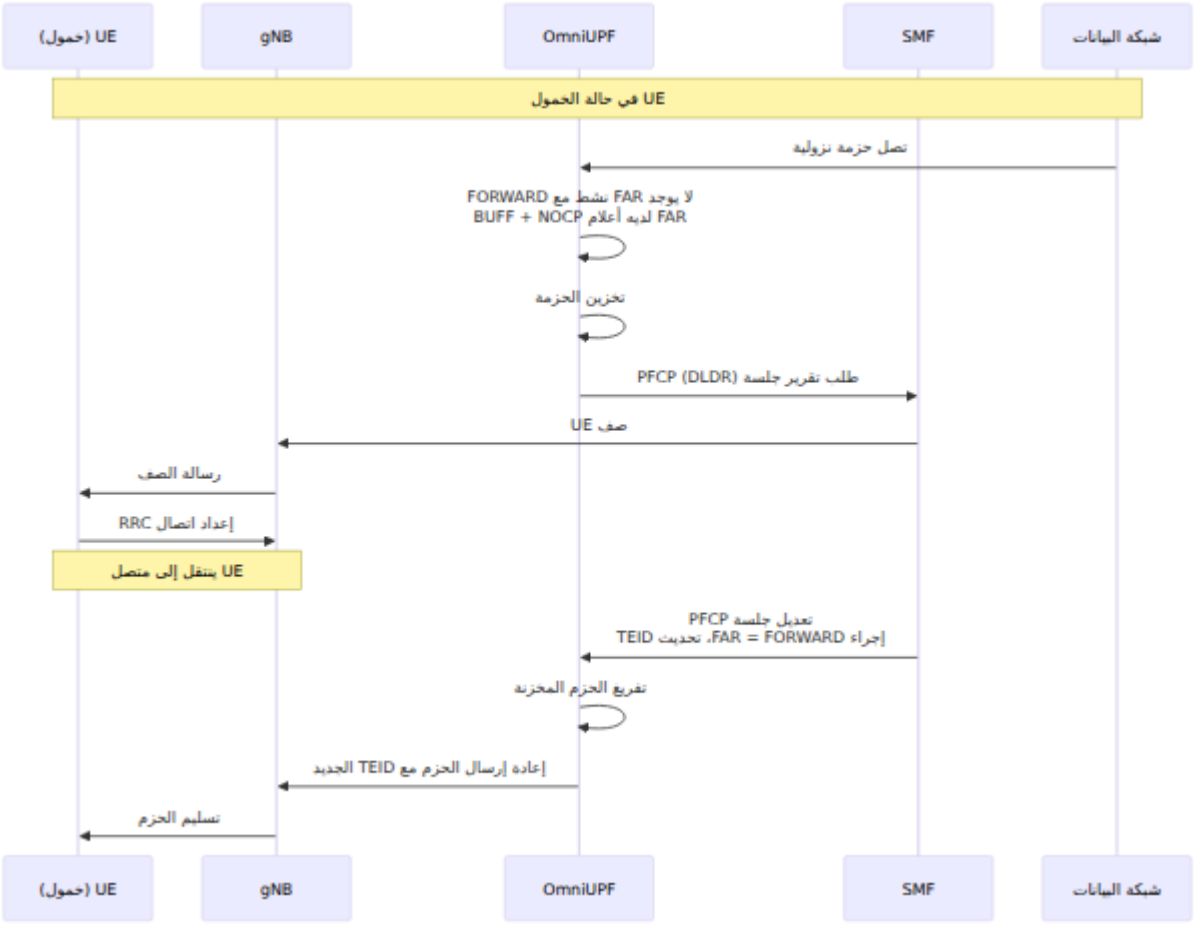
تدفقات الجهد الأفضل (GBR = 0):

```
QER ID: 1
QFI: 9
MBR (100 ميغابت في الثانية) 100000 كيلوبت في الثانية :الرفع
MBR (100 ميغابت في الثانية) 100000 كيلوبت في الثانية :النزول
GBR 0 كيلوبت في الثانية :الرفع
GBR 0 كيلوبت في الثانية :النزول
```

التدفقات المضمونة (GBR > 0):

```
QER ID: 2
QFI: 1
MBR (الرفع: 10000 كيلوبت في الثانية (10 ميغابت في الثانية
MBR (النزول: 10000 كيلوبت في الثانية (10 ميغابت في الثانية
GBR (الرفع: 5000 كيلوبت في الثانية (5 ميغابت في الثانية
GBR (النزول: 5000 كيلوبت في الثانية (5 ميغابت في الثانية
```

خوارزمية فرض QoS



آلية فرض MBR

تفرض OmniUPF حدود MBR (الحد الأقصى لمعدل البت) باستخدام **محدد معدل نافذة منزلقة**. تعمل هذه الخوارزمية بدقة نانو ثانية مباشرة في طبقة XDP، مما يتم تنفيذه في مسار eBPF. يضمن أداء بمعدل خط دون تبديلات سياق النواة.

كيف تعمل

الخوارزمية: تحديد معدل النافذة المنزلقة

لكل حزمة، تقوم UPF بإجراء الفحوصات التالية:

1. **تحقق من حالة البوابة**: إذا كانت حالة البوابة `مغلقة` (غير صفرية)، يتم إسقاط الحزمة على الفور
2. **تحقق من MBR**: إذا كان MBR = 0، غير (نطاق ترددي يتم تجاوز تحديد المعدل محدود)

3. **حساب زمن الإرسال**:

```
tx_time = (packet_size_bytes × 8) × (1,000,000,000 ns/sec)
/ MBR_kbps
```

4. **تحقق من النافذة**: إذا كان الوقت الحالي ضمن نافذة 5 مللي ثانية، يتم إسقاط الحزمة
5. **تقدم النافذة**: إذا كانت الحزمة مسموح بها، يتم تقدم النافذة بمقدار `tx_time`

مثال على الحساب:

افترض:

- MBR = 100,000 كيلوبت في الثانية (100 ميغابت في الثانية)
- حجم الحزمة = 1500 بايت
- حجم النافذة = 5,000,000 نانو ثانية (5 مللي ثانية)

```
الخطوة 1: حساب زمن الإرسال عند 100 ميغابت في الثانية
tx_time = (1500 بايت × 8 بت/بايت) × (1,000,000,000 نانو ثانية/
ثانية) / 100,000,000 بت في الثانية
        = 12,000,000,000 / 100,000,000
        = 120 نانو ثانية

الخطوة 2: تحقق مما إذا كانت الحزمة تناسب النافذة
current_time = 1000000000 نانو ثانية
window_start = 999990000 نانو ثانية
if (window_start + tx_time > current_time):
    إسقاط الحزمة (سيتجاوز حد المعدل)

الخطوة 3: إذا كانت مسموح بها، تقدم النافذة
window_start = window_start + 120 نانو ثانية
تمرير الحزمة
```

سلوك النافذة المنزلقة

حجم النافذة 5 مللي ثانية:

- تستخدم الخوارزمية نافذة منزلقة بحجم 5 مللي ثانية
- يتم إعادة تعيين النافذة تلقائيًا إذا كانت غير نشطة لأكثر من 5 مللي ثانية
- تمنع تجويع الانفجارات أثناء فرض المعدل المتوسط

معالجة الانفجارات:

- يسمح بانفجارات صغيرة ضمن نافذة 5 مللي ثانية
- يتم تحديد معدل الحركة المستدامة فوق MBR
- أكثر دقة من خوارزميات دلو الرموز البسيطة

تحديد المعدل لكل اتجاه:

- يستخدم MBR الرفع `qer->ul_start` الطابع الزمني
- يستخدم MBR النزول `qer->dl_start` الطابع الزمني
- يتم تحديد كل اتجاه بشكل مستقل

نقاط فرض تحديد المعدل

الرفع (N3 → N6):

1. تصل حزمة على واجهة N3 (من gNB)
2. بحث PDR حسب TEID
3. بحث QER حسب QER ID
4. تحقق من `ul_gate_status` → إسقاط إذا كانت مغلقة
5. تطبيق `limit_rate_sliding_window()` مع `ul_maximum_bitrate`
6. وتحديث عدادات URR إذا تم السماح، يتم توجيهها إلى N6

النزول (N6 → N3):

1. تصل حزمة على واجهة N6 (من شبكة البيانات)
2. بحث PDR حسب عنوان IP لـ UE
3. بحث QER حسب QER ID
4. تحقق من `dl_gate_status` → إسقاط إذا كانت مغلقة
5. تطبيق `limit_rate_sliding_window()` مع `dl_maximum_bitrate`
6. وتوجيهها إلى N3 إذا تم السماح، إضافة رأس GTP-U

حلقة N9 (SGWU ↔ PGWU):

- الرفع والنزول في سيناريوهات حلقة N9 قد تنطبق كل من QERs
- يتم التحقق من كل PGWU و SGWU بشكل مستقل عند حدود QER

مقابل الإنتاجية الملاحظة MBR

لماذا قد تختلف الإنتاجية الملاحظة عن MBR:

- **زيادة البروتوكول**: تضيف رؤوس IP وUDP وGTP-U حوالي 50-60 بايت لكل حزمة
- **تباين حجم الحزمة**: الحزم الأصغر = المزيد من الزيادة، كفاءة أقل
- **دقة تحديد المعدل**: يتم فرضه لكل حزمة، وليس لكل بايت
- **سلوك إعادة تعيين النافذة**: تسمح الفترات الخاملة البالغة 5 مللي ثانية بانفجارات قصيرة فوق MBR

مثال:

```
MBR المكون: 100 ميغابت في الثانية
الإنتاجية الملاحظة: ~95-98 ميغابت في الثانية (بسبب زيادة GTP-U/UDP/IP)
```

كيفية التحقق من تحديد المعدل:

1. تحقق من عدادات حجم URR على مدار الزمن: `upf_urr_*_volume_bytes`
2. احسب الإنتاجية: `(volume_delta_bytes × 8) / time_delta_seconds / 1000` = كيلوبت في الثانية
3. قارن مع MBR المكون في QER

GBR (معدل البت المضمون)

مهم: لا تقوم OmniUPF حاليًا بفرض الحد الأدنى لـ GBR. يتم تخزين GBR في QER ولكن لا يتم استخدامه لتحديد أولويات حركة المرور أو التحكم في القبول.

سلوك GBR:

- يتم قبول قيم GBR من SMF عبر PFCP
- يتم تخزين GBR في خريطة QER ويمكن رؤيتها عبر API
- **لا توجد حجز للنطاق الترددي** أو تحديد أولويات حركة المرور بناءً على GBR
- يُستخدم GBR (جهد أفضل مقابل مضمون) كبيانات وصفية لتتبع نوع التدفق

تحسين مستقبلي:

- يتطلب فرض GBR جدولة حركة المرور أو تصنيف وزني
- قد يتم تنفيذ ذلك باستخدام قدرات eBPF في QoS في الإصدارات المستقبلية

قواعد تقارير الاستخدام (URR)

الغرض

تتبع URRs أحجام البيانات للرسوم، والتحليلات، وفرض السياسات. تحتفظ بعدادات الحزم والبايتات لسجلات الرسوم SMF التي يتم الإبلاغ عنها إلى.

هيكل URR



تتبع الحجم

حجم الرفع:

- إلى شبكة البيانات UE البايتات المرسلة من
- يتم قياسها بعد إزالة تغليف GTP-U
- تشمل رأس IP والحمولة

حجم النزول:

- البايتات المرسلة من شبكة البيانات إلى UE
- يتم قياسها قبل تغليف GTP-U
- تشمل رأس IP والحمولة

إجمالي الحجم:

- مجموع أحجام الرفع والنزول
- يستخدم للإبلاغ عن الاستخدام الكلي

مشغلات تقارير الاستخدام

يمكن أن تؤدي URRs على إلى تقارير بناءً:

عتبة الحجم:

- الإبلاغ عند تجاوز الحجم الحد المحدد
- مثال: الإبلاغ عن كل 1 جيجابايت من الاستخدام

عتبة الوقت:

- الإبلاغ في فترات دورية
- مثال: الإبلاغ كل 5 دقائق

استنادًا إلى الأحداث:

- الإبلاغ عند إنهاء الجلسة
- الإبلاغ عند تغيير QoS
- الإبلاغ عند الانتقال

تنسيق عرض الحجم

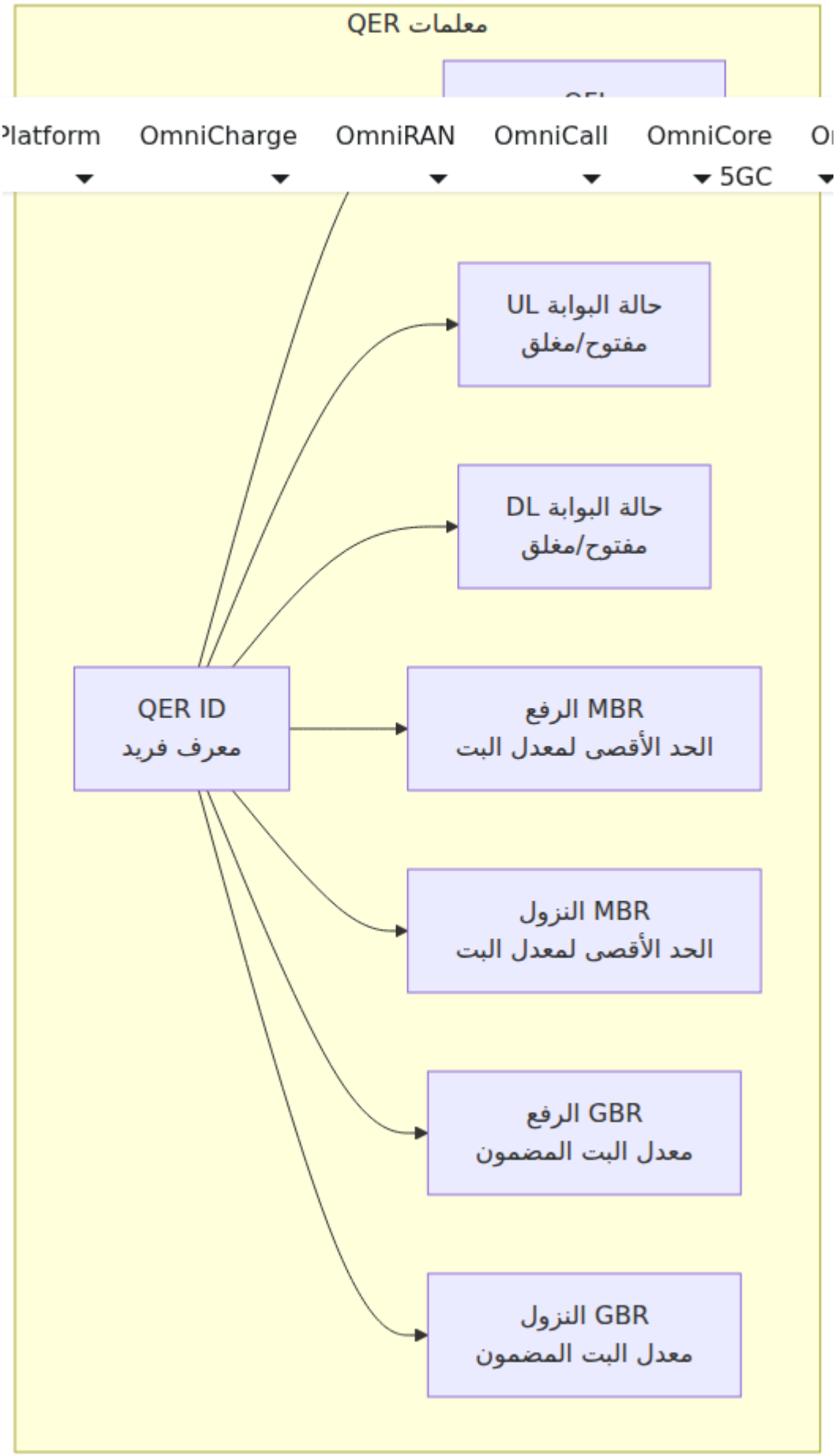
تقوم واجهة ال��يب تلقائيًا بتنسيق الحجم في وحدات قابلة للقراءة البشرية:

العرض	بايت
ب (بايت)	0 - 1023
كيلوبايت (كيلوبايت)	1024 - 1048575
ميغابايت (ميغابايت)	1048576 - 1073741823
جيجابايت (جيجابايت)	1073741824 - 1099511627775
تيرابايت (تيرابايت)	1099511627776+

مثال:

```
URR ID: 0
حجم الرفع: 12.3 كيلوبايت
حجم النزول: 9.0 كيلوبايت
إجمالي الحجم: 21.3 كيلوبايت
```

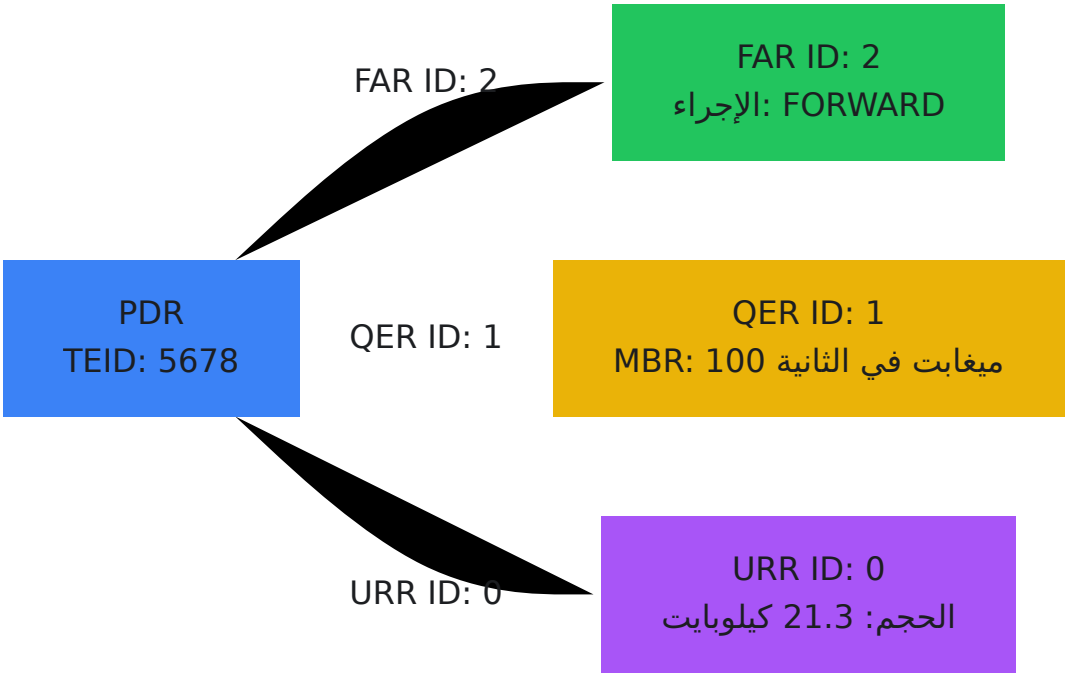
URR تدفق تقارير


معلمات QER
Platform
OmniCharge
OmniRAN
OmniCall
OmniCore 5GC
حالة البوابة UL
مفتوح/مغلق
حالة البوابة DL
مفتوح/مغلق
QER ID
معرف فريد
MBR الرفع
الحد الأقصى لمعدل البت
MBR النزول
الحد الأقصى لمعدل البت
GBR الرفع
معدل البت المضمون
GBR النزول
معدل البت المضمون

علاقا�� القواعد

سلسلة PDR → FAR → QER → URR

تشير كل PDR إلى FAR، والتي قد تشير إلى QER واحدة أو أكثر من URRs.



مثال على تكوين الجلسة

PDR الرفع:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
URR IDs: [0]
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
```

PDR النزول:

```
عنوان IP لـ UE: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
URR IDs: [0]
وضع SDF: لا SDF
```

FAR ID 1 (النزول):

```
2 :الإجراء (FORWARD)
إنشاء الرأس الخارجي: صحيح
عنوان IP 198.51.100.10 :البعيد
TEID: 5678
```

FAR ID 2 (الرفع):

```
2 :الإجراء (FORWARD)
إنشاء الرأس الخارجي: خطأ
```

QER ID 1:

```
QFI: 9
MBR كيلوبت في الثانية 100000 :الرفع
MBR كيلوبت في الثانية 100000 :النزول
GBR كيلوبت في الثانية 0 :الرفع
GBR كيلوبت في الثانية 0 :النزول
```

URR ID 0:

```
حجم الرفع: 12.3 كيلوبايت
حجم النزول: 9.0 كيلوبايت
إجمالي الحجم: 21.3 كيلوبايت
```

العمليات الشائعة

عرض القواعد لجلسة

عبر صفحة الجلسات:

1. انتقل إلى الجلسات
2. ابحث عن UE حسب عنوان IP أو TEID
3. انقر على "توسيع" لعرض جميع القواعد (PDR، FAR، QER، URR)

عبر صفحة القواعد:

1. انتقل إلى القواعد
2. استخدم البحث حسب TEID (الرفع) أو عنوان IP لـ UE (النزول) في علامة PDR
3. لاحظ FAR ID و QER ID و URR IDs
4. انتقل إلى علامات FAR/QER/URR لعرض القواعد المرجعية

تمكين/تعطيل التخزين

السيناريو: أثناء الانتقال، قم بتخزين الحزم لمنع الفقد

الخطوات:

1. انتقل إلى القواعد → FARs
2. أدخل FAR ID في حقل البحث
3. انقر على "بحث"
4. إذا كان التخزين مغلقًا، انقر على "تمكين التخزين"
5. تحقق من تعيين بت 2 لإجراء FAR (4 بمقدار تزداد قيمة الإجراء)

بديل عبر صفحة المخازن:

1. انتقل إلى المخازن
2. عرض FARs مع التخزين الممكّن
3. انقر على "تعطيل التخزين" عند اكتمال الانتقال

مراقبة الامتثال لـ QoS

تحقق مما إذا كانت الحركة تخضع لتحديد المعدل:

1. انتقل إلى القواعد → QERs
2. ابحث عن QER ID المرتبط بجلسة UE
3. لاحظ قيم MBR الرفع و MBR النزول
4. قارن مع معدل نمو حجم URR

احسب متوسط الإنتاجية:

```
الإنتاجية (كيلوبت في الثانية) = (فرق الحجم بالبايت × 8) / (فرق الزمن بالثواني × 1000)
```

إذا اقتربت الإنتاجية من MBR، فإن الحركة تخضع لتحديد المعدل.

تتبع استخدام البيانات

راقب أحجام URR:

1. انتقل إلى القواعد → URRs
2. عرض أحجام الرفع والنزول والإجمالي
3. فرز حسب الحجم الإجمالي للعثور على أعلى المستخدمين
4. تحديث دوري لمراقبة نمو الحجم

حالات الاستخدام:

- تحقق من تكامل التحصيل
- اكتشاف الاستخدام غي�ّ الطبيعي للبيانات
- التخطيط للسعة بناءً على أنماط الحركة

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

لا توجد حركة مرور

تحقق من PDR:

1. تحقق من وجود PDR لـ TEID (الرفع) أو عنوان IP لـ UE (النزول)
2. تأكد من أن FAR ID صالح
3. تحقق من أن مرشحات SDF لا تمنع الحركة

تحقق من FAR:

1. تحقق من أن إجراء FAR هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER فقط)
2. تأكد من أن إنشاء الرأس الخارجي يتطابق مع الاتجاه
3. تحقق من أن عنوان IP البعيد و TEID للنزول صحيحين

تحقق من QER:

1. تحقق من أن حالة البوابة مفتوحة (0)
2. تحقق من أن MBR ليس صارمًا جدًا

الحزم التي يتم إسقاطها

تحقق من تحديد معدل QER:

1. انتقل إلى القواعد → QERs
2. تحقق من أن MBR كافٍ لحمل الحركة
3. تحقق من أن نمو حجم URR يتطابق مع الإنتاجية المتوقعة

تحقق من إجراء FAR:

1. انتقل إلى القواعد → FARs
2. تحقق من أن الإجراء هو FORWARD، وليس DROP
3. تحقق من أن التخزين ليس عالقًا في وضع BUFFER فقط

مشكلات التخزين

الحزم عالقة في المخزن:

1. انتقل إلى صفحة المخازن
2. تحقق من الطابع الزمني لأقدم حزمة
3. إذا كانت > 30 ثانية، قد يكون الانتقال قد فشل
4. قم بتفريغ أو مسح المخزن يدويًا

5. قم بتعطيل التخزين على FAR

تجاوز المخزن:

1. تحقق من إجمالي الحزم مقابل الحد الأقصى الإجمالي (افتراضي 100,000)
2. تحقق من الحزم لكل FAR مقابل الحد الأقصى لكل FAR (افتراضي 10,000)
3. امسح المخازن إذا كانت ممتلئة
4. تحقق من سبب عدم تعطيل التخزين

URR لا تتعقب

عدادات الحجم عند الصفر:

1. تحقق من أن PDR تشير إلى URR ID
2. تحقق من أن الحزم تتطابق مع PDR
3. تحقق من أن FAR الحزم (ليس إسقاط) تقوم بتوجيه
4. تأكد من أن URR ID موجود في خريطة URR

الحجم لا يتم الإبلاغ عنه إلى SMF:

1. تحقق من تكوين تقرير جلسة PFCP
2. تحقق من مشغلات تقارير URR (عتبات الحجم/الوقت)
3. راجع السجلات لرسائل تقرير جلسة PFCP

لوثائق ذات الصلة

- **دليل عمليات UPF** - نظرة عامة على بنية OmniUPF ومكوناته
- **دليل عمليات واجهة الويب** - استخدام لوحة التحكم لعرض القواعد
- **دليل المراقبة** - إحصائيات ومراقبة السعة
- **دليل استكشاف الأخطاء** - المشكلات الشائعة والتشخيصات

دليل استكشاف أخطاء OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. أدوات التشخيص
3. مشاكل التثبيت
4. مشاكل التكوين
5. مشاكل ارتباط PFCP
6. مشاكل معالجة الحزم
7. مشاكل eBPF و XDP
8. مشاكل الأداء
9. مشاكل محددة بالهايبرفايزر
10. مشاكل NIC والسائق
11. فشل إنشاء الجلسات
12. مشاكل التخزين المؤقت

نظرة عامة

يوفر هذا الدليل إجراءات استكشاف الأخطاء بشكل منهجي لمشاكل OmniUPF الشائعة. تتضمن كل قسم الأعراض، وخطوات التشخيص، والأسباب الجذرية، وإجراءات الحل.

قائمة مراجعة تشخيص سريعة

قبل البدء في استكشاف الأخطاء بعمق، تحقق من:

```
# 1. تحقق من تشغيل OmniUPF
systemctl status omniupf

# 2. تحقق من ارتباط PFCP
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline

# 3. تحقق من تحميل خرائط eBPF
ls /sys/fs/bpf/

# 4. تحقق من إرفاق برنامج XDP
ip link show | grep -i xdp

# 5. تحقق من سجلات النواة للأخطاء
dmesg | tail -50
journalctl -u omniupf -n 50
```

أدوات التشخيص

واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF REST

تحقق من حالة UPF:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_status
```

تحقق من ارتباطات PFCP:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline
```

تحقق من عدد الجلسات:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq 'length'
```

تحقق من سعة خريطة eBPF:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info
```

تحقق من إحصائيات الحزم:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
```

تحقق من إحصائيات XDP:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
```

فحص خريطة eBPF

قائمة بجميع خرائط eBPF:

```
ls -lh /sys/fs/bpf/
bpftool map list
```

عرض تفاصيل الخريطة:

```
bpftool map show
bpftool map dump name pdr_map_downlin
```

عد الإدخالات في الخريطة:

```
bpftool map dump name far_map | grep -c "key:"
```

فحص برنامج XDP

تحقق مما إذا كان برنامج XDP مرفقًا:

```
ip link show eth0 | grep xdp
```

قائمة بجميع برامج XDP:

```
bpftool net list
```

عرض تفاصيل برنامج XDP:

```
bpftool prog show
```

تفريغ إحصائيات XDP:

```
bpftool prog dump xlated name xdp_upf_func
```

استكشاف الشبكة

التقاط حركة مرور PFCP على N4 (طائرة التحكم):

```
# PFCP يعمل بشكل طبيعي، tcpdump XDP لا تتم معالجته بواسطة
tcpdump -i eth0 -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_traffic.pcap
```

التقاط حركة مرور GTP-U على N3 (يتطلب التقاط خارج النطاق):

```
# تحذير: tcpdump على مضيف UPF القياسي لا يمكنه التقاط الحزم
المعالجة بواسطة XDP!
# XDP يعالج GTP-U قبل أن ترى حزم النواة كومة الشبكة.

# استخدم التقاط خارج النطاق بدلاً من ذلك:
# 1. TAP الشبكة بين gNB و UPF
# 2. نسخ حركة مرور SPAN/نسخ منفذ التبديل لـ N3
# 3. نسخ منفذ التبديل الافتراضي إلى VM المحلل

# على مضيف المحلل/المراقبة (ليس على UPF):
# tcpdump -i <mirror_interface> -n udp port 2152 -w
/tmp/n3_capture.pcap

# أو استخدم واجهة برمجة التطبيقات للإحصائيات لعد الحزم:
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats
```

مراقبة عدادات الحزم:

```
watch -n 1 'ip -s link show eth0'
```

تحقق من جدول التوجيه:

```
ip route show
ip route get 10.45.0.100  # تحقق من المسار لعنوان IP الخاص بـ UE
```

تحقق من جدول ARP:

```
ip neigh show
```

مشاكل التثبيت

المشكلة: "نظام ملفات eBPF غير مثبت"

الأعراض:

```
ERRO[0000] فشل في تحميل كائنات eBPF: قم بتركيب نظام ملفات bpf في /sys/fs/bpf
```

السبب: نظام ملفات eBPF غير مثبت

الحل:

```
# تركيب نظام ملفات eBPF
sudo mount bpffs /sys/fs/bpf -t bpf

# اجعلها دائمة (أضف إلى /etc/fstab)
echo "bpffs /sys/fs/bpf bpf defaults 0 0" | sudo tee -a /etc/fstab

# تحقق من التركيب
mount | grep bpf
```

المشكلة: إصدار النواة قديم جدًا

الأعراض:

```
ERRO[0000] إصدار النواة 5.4.0 قديم جدًا، الحد الأدنى المطلوب هو 5.15.0
```

السبب: إصدار نواة Linux أقل من الحد الأدنى المطلوب

الحل:

```
# تحقق من إصدار النواة
uname -r

# ترقية النواة (Ubuntu/Debian)
sudo apt update
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot

# تحقق من النواة الجديدة
uname -r  # يجب أن تكون >= 5.15.0
```

المشكلة: اعتماد libbpf مفقود

الأعراض:

```
خطأ أثناء تحميل المكتبات المشتركة: libbpf.so.0: لا يمكن فتح ملف
الكائن المشترك
```

السبب: مكتبة libbpf غير مثبتة

الحل:

```
# تثبيت libbpf (Ubuntu/Debian)
sudo apt update
sudo apt install libbpf-dev

# تحقق من التثبيت
ldconfig -p | grep libbpf
```

مشاكل التكوين

المشكلة: ملف التكوين غير صالح

الأعراض:

```
ERRO[0000] أخطاء في فك التشفير: غير قادر على قراءة ملف التكوين
```

السبب: خطأ في بناء الجملة في ملف تكوين Elixir

الحل:

```
# تحقق من بناء جملة ملف التكوين
cd /opt/omniupf && bin/upf_ex eval "IO.puts(:ok)"

# المشاكل الشائعة:
# - الاقتباسات المفقودة حول قيم السلسلة
# - بناء جملة Elixir غير صحيح (مثل استخدام : بدلاً من =)
# - سلاسل أو أقواس غير مغلقة

# ملف التكوين موجود في /etc/omniupf/runtime.exs
# مثال على بناء جملة صحيح:
# xdp_interfaces = "eth0"
# xdp_attach_mode = "generic"
# api_port = 8080
# pfcp_address = "10.0.0.1"
```

المشكلة: اسم الواجهة غير موجود

الأعراض:

```
ERRO[0000] الواجهة eth0 غير موجودة
```

السبب: الواجهة المكونة غير موجودة

الحل:

```
# قائمة بجميع واجهات الشبكة
ip link show

# تحقق من حالة الواجهة
ip addr show eth0

# إذا كانت الواجهة تحمل اسمًا مختلفًا، قم بتحديث
/etc/omniupf/runtime.exs:
# xdp_interfaces = "ens1f0"  # استخدم الاسم الفعلي للواجهة

# تحقق من نظام تس
ية الواجهة، بالنسبة لـ VMs
ls /sys/class/net/
```

المشكلة: المنفذ مستخدم بالفعل

الأعراض:

```
ERRO[0000] فشل في بدء خادم API: العنوان مستخدم بالفعل
```

السبب: المنفذ 8080 أو 8805 أو 9090 مرتبط بالفعل بعملية أخرى

الحل:

```
# ابحث عن العملية التي تستخدم المنفذ
sudo lsof -i :8080
sudo netstat -tulpn | grep :8080

# إنهاء العملية المتعارضة
sudo kill <PID>

# أو تغيير منفذ OmniUPF في /etc/omniupf/runtime.exs
# api_port = 8081
# pfcp_port = 8806
```

المشكلة: معرف عقدة PFCP غير صالح

الأعراض:

```
ERRO[0000] معرف pfcp_node_id يجب أن يكون عنوان IPv4 غير صالح:
صالحًا
```

السبب: معرف عقدة PFCP ليس عنوان IPv4 صالحًا

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
# استخدم عنوان IP الصحيح: (ليس اسم المضيف)
node_id = "10.100.50.241"

# غير صحيح:
# node_id = "localhost"
# node_id = "upf.example.com"
```

مشاكل ارتباط PFCP

المشكلة: تم إنشاؤها PFCP لا توجد ارتباطات

الأعراض:

- واجهة المستخدم على الويب تظهر "لا توجد ارتباطات"
- سجلات SMF تظهر "فشل إعداد ارتباط PFCP"

التشخيص:

```
# 1. تحقق مما إذا كان خادم PFCP يستمع
sudo netstat -ulpn | grep 8805

# 2. تحقق من قواعد جدار الحماية
sudo iptables -L -n | grep 8805
sudo ufw status

# 3. التقاط حركة مرور PFCP
tcpdump -i any -n udp port 8805 -vv

# 4. تحقق من ارتباطات PFCP عبر واجهة برمجة التطبيقات
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline
```

الأسباب الشائعة والحلول:

جدار الحماية يمنع PFCP

الحل:

```
# السماح بحركة مرور PFCP (UDP 8805)
sudo ufw allow 8805/udp
sudo iptables -A INPUT -p udp --dport 8805 -j ACCEPT
```

معرف عقدة PFCP خاطئ

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs، قم بتعيين معرف العقدة إلى عنوان IP
الصحيح N4 الخاص بواجهة
node_id = "10.100.50.241"    # يجب أن يتطابق مع عنوان IP على شبكة
N4
```

الشبكة غير قابلة للوصول إلى SMF

الحل:

```
# اختبار الاتصال بـ SMF
ping <SMF_IP>

# تحقق من التوجيه إلى SMF
ip route get <SMF_IP>

# أضف مسارًا إذا كان مفقودًا
sudo ip route add <SMF_NETWORK>/24 via <GATEWAY>
```

خاطئ UPF مكون بعنوان SMF

الحل:

- تحقق من تكوين SMF لعنوان UPF
- تأكد من أن SMF يحتوي على عنوان IP لـ `pfcp_node_id` الخاص بـ UPF
- تحقق من أن SMF يمكنه التوجيه إلى شبكة N4 الخاصة بـ UPF

المشكلة: فشل نبضات PFCP

الأعراض:

```
WARN[0030] مهلة نبضة PFCP 10.100.50.10 للارتباط
```

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات PFCP
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline | jq
'.associations[] | {remote_id, uplink_teid_count}'

# مراقبة سجلات النبضات
journalctl -u omniupf -f | grep heartbeat
```

الأسباب والحلول:

فقدان حزم الشبكة

الحل:

```
# تحقق من فقدان الحزم إلى SMF
ping -c 100 <SMF_IP> | grep loss

# إذا كان الفقد مرتفعًا، تحقق من الشبكة:
# - تحقق من حالة الرابط
# - تحقق من صحة التبديل/الموجه
# - تحقق من الازدحام
```

فترة النبضات عدوانية جدًا

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
heartbeat_interval_ms = 30_000    # زيادة من 5000 إلى 30000 مللي ثانية
heartbeat_retries = 5             # زيادة عدد المحاولات
heartbeat_timeout_ms = 10_000     # زيادة المهلة
```

مشاكل معالجة الحزم

المشكلة: لا توجد حزم تتدفق (عدادات RX/TX 0)

الأعراض:

- صفحة الإحصائيات تظهر 0 حزمة RX/TX
- لا يمكنه إنشاء جلسة بيانات UE

التشخيص:

```
# 1. تحقق مما إذا كان برنامج XDP مرفقًا
ip link show eth0 | grep xdp

# 2. تحقق من أن الواجهة نشطة
ip link show eth0

# 3. تحقق من إحصائيات الحزم (مدرك لـ XDP)
# ملاحظة: tcpdump لا يمكنه رؤية حزم GTP-U المعالجة بواسطة XDP
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
```

الحلول:

برنامج XDP غير مرفق

الحل:

```
# إعادة تشغيل OmniUPF لإعادة إرفاق XDP
sudo systemctl restart omniupf

# تحقق من الإرفاق
ip link show eth0 | grep xdp
bpftool net list
```

الواجهة غير نشطة أو لا يوجد رابط

الحل:

```
# جعل الواجهة نشطة
sudo ip link set eth0 up

# تحقق من حالة الرابط
ethtool eth0 | grep "Link detected"

# إذا كان الرابط غير نشط، تحقق من الاتصال الفعلي أو تكوين الشبكة لـ VM
```

الواجهة المكونة خاطئة

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "ens1f0"    # استخدم الاسم الفعلي للواجهة من 'ip
link show'
```

المشكلة: حزم مستلمة ولكن غير مُعاد توجيهها (معدل إسقاط مرتفع)

الأعراض:

- لا TX تزداد ولكن عدادات RX عدادات
- معدل الإسقاط% > 1

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات الإسقاط
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.drop'

# تحقق من إحصائيات التوجيه
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'

# مراقبة إسقاط الحزم
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
".total_rx, .total_tx, .total_drop"'
```

الأسباب الشائعة:

لا يوجد تطابق PDR (TEID غير معروف أو عنوان UE IP)

الحل:

```
# تحقق مما إذا كانت الجلسات موجودة
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions

# إذا لم تكن هناك جلسات، تحقق من:
# - تم إنشاء ارتباط PFCP
# - أن SMF قد أنشأ الجلسات
# - أن إنشاء الجلسة كان ناجحًا

# تحقق من إدخالات خريطة PDR
bpftool map dump name pdr_map_teid_ip | grep -c key
bpftool map dump name pdr_map_downlin | grep -c key
```

فشل التوجيه

الحل:

```
# تحقق من فشل بحث FIB
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'

# اختبار التوجيه لعنوان UE IP
ip route get 10.45.0.100

# إضافة مسار مفقود
sudo ip route add 10.45.0.0/16 dev eth1  # توجيه مجموعة UE إلى N6
```

تحديد معدل QER

الأعراض:

- معدل النقل أقل من المتوقع
- حركة المرور مقيدة بمعدل معين
- تظهر سلوكًا مستويًا URR عدادات حجم
- تزداد أثناء اندفاعات الحركة XDP عدادات إسقاط

التشخيص:

1. **تحقق من MBR المكون للجلسة**:

```
# ابحث عن معرف QER للجلسة
curl http://localhost:8080/api/v1/pfcp_sessions | jq
'.data[] | select(.ue_ip == "10.45.0.1")'

# ابحث عن تكوين QER
curl http://localhost:8080/api/v1/qer_map | jq '.data[] |
select(.qer_id == 1)'
```

2. **تحقق من حالة البوابة**:

```
# يجب أن تكون حالة البوابة 0 (مفتوحة) لكل من الاتجاه الصاعد
والنازل
curl http://localhost:8080/api/v1/qer_map | jq '.data[] |
{qer_id, ul_gate: .ul_gate_status, dl_gate:
.dl_gate_status}'
```

3. **احسب معدل النقل الفعلي من URR**:

```
# استعلام عن عدادات حجم URR في نقطتين زمنيتين
curl http://localhost:8080/api/v1/urr_map | jq '.data[] |
select(.urr_id == 0)'

# احسب معدل النقل (يدويًا):
# throughput_kbps = (volume_delta_bytes × 8) /
time_delta_seconds / 1000
```

4. **قارن MBR مقابل معدل النقل الفعلي**:
    - MBR (بسبب زيادة البروتوكول) ≈ 95-98% من معدل النقل المتوقع
    - إذا كان معدل النقل أقل بكثير من MBR، تحقق من اختناقات أخرى
    - إذا كان معدل النقل يتطابق تمامًا مع MBR، فإن تحديد المعدل يعمل كما هو متوقع

الحل:

- **إذا كان MBR منخفضًا جدًا**: اطلب من SMF تحديث QER مع MBR أعلى عبر تعديل جلسة PFCP
- **إذا كانت البوابة مغلقة**: تحقق من سبب إغلاق SMF (سياسة، حصة، أو خطأ) للبوابة

- **إذا كان تحدي�� المعدل غير متوقع**: تحقق من تكوين سياسة SMF وملف تعريف QoS

فهم تنفيذ MBR:

يستخدم OmniUPF خوارزمية نافذة منزلقة لتطبيق حدود MBR في مسار eBPF. بدقة نانوثانية. انظر دليل إدارة القواعد - آلية تنفيذ MBR لشرح مفصل عن:

- كيف تحدد حجم الحزمة ومعدلها قرارات الإسقاط
- لماذا يختلف معدل النقل الملحوظ عن MBR المكون
- تحديد المعدل لكل اتجاه (صاعد/نازل)
- سلوك النافذة المنزلقة 5 مللي ثانية

السيناريوهات الشائعة:

- **مكالمات VoIP تتقطع**: تحقق مما إذا كان MBR كافيًا لمعدل بت الترميز (G.711 = ~80 kbps)
- **تخزين مؤقت لبث الفيديو**: تأكد من أن MBR > معدل بت الفيديو + الزيادة (1080p = ~5-10 Mbps)
- **حركة المرور الاندفاعية**: يسمح باندفاعات صغيرة ضمن نافذة 5 مللي ثانية، يتم تحديد معدل الحركة المستدام

المشكلة: حركة مرور من اتجاه واحد (الاتجاه الصاعد يعمل، الاتجاه النازل لا يعمل)

الأعراض:

- (مشكلة الاتجاه النازل) حزم N3 TX ولكن لا توجد حزم N3 RX
- (مشكلة الاتجاه الصاعد) حزم N6 TX ولكن لا توجد حزم N6 RX

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات واجهة N3/N6 (طريقة مدركة لـ XDP)
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats

# ملاحظة: tcpdump القياسي لا يمكنه التقاط حركة مرور GTP-U المعالجة بواسطة XDP
# استخدم واجهة برمجة التطبيقات للإحصائيات أو xdpdump لتحليل الحركة
# انظر قسم "التقاط الحزم باستخدام XDP" للتفاصيل
```

فشل الاتجاه الصاعد (RX N3، لا TX N6):

السبب: لا يوجد إجراء FAR أو مشكلة توجيه إلى N6

الحل:

```
# تحقق من أن FAR يحتوي على إجراء FORWARD
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
select(.applied_action == 2)'

# تحقق من وجود مسار N6
ip route get 8.8.8.8  # اختبار المسار إلى الإنترنت

# أضف مسارًا افتراضيًا إذا كان مفقودًا
sudo ip route add default via <N6_GATEWAY> dev eth1
```

فشل الاتجاه النازل (RX N6، لا TX N3):

السبب: لا يوجد PDR نازل GTP أو غياب تغليف

الحل:

```
# تحقق مما إذا كان PDR النازل موجودًا لعنوان UE IP
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].pdrs[] |
select(.pdi.ue_ip_address)'

# تحقق من أن FAR يحتوي على OUTER_HEADER_CREATION
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
.outer_header_creation'

# تحقق من إمكانية الوصول إلى gNB
ping <GNB_N3_IP>
```

مشاكل XDP و eBPF

للحصول على تفاصيل حول تكوين XDP، انظر، واختيار الوضع، واستكشاف الأخطاء، دليل أوضاع XDP.

المشكلة: فشل تحميل برنامج XDP

الأعراض:

```
ERRO[0000] فشل في تحميل برنامج XDP: حجة غير صالحة
```

التشخيص:

```
# تحقق من دعم النواة لـ XDP
grep XDP /boot/config-$(uname -r)

# يجب أن تظهر:
# CONFIG_XDP_SOCKETS=y
# CONFIG_BPF=y
# CONFIG_BPF_SYSCALL=y

# تحقق من dmesg مفصل للحصول على خطأ
dmesg | grep -i bpf
```

الأسباب والحلول:

النواة تفتقر إلى دعم XDP

الحل:

```
# أو الترقية إلى نواة أحدث XDP إعادة بناء النواة مع دعم
# Ubuntu 22.04+ يحتوي على XDP مفعل بشكل افتراضي
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot
```

فشل التحقق من برنامج XDP

الحل:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء المدقق
journalctl -u omniupf | grep verifier

# المشاكل الشائعة:
# - تعقيد eBPF (زيادة حدود النواة) يتجاوز الحدود
# - وصول غير صالح للذاكرة (خطأ في كود eBPF)

# لأغراض التصحيح eBPF زيادة مستوى سجل المدقق لـ
sudo sysctl kernel.bpf_stats_enabled=1
```

المشكلة: زيادة عدد الإلغاءات في XDP

الأعراض:

- تظهر إلغاءات XDP 0 < إحصائيات
- زيادة إسقاط الحزم

التشخيص:

```
# تحقق من عدد الإلغاءات في XDP
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.aborted'

# مراقبة إحصائيات XDP
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats'
```

خطأ أثناء التشغيل eBPF **السبب**: واجه برنامج

الحل:

```
# تحقق من سجلات النواة لأخطاء eBPF
dmesg | grep -i bpf

# إعادة تشغيل OmniUPF لإعادة تحميل برنامج eBPF
sudo systemctl restart omniupf

# إذا استمرت المشكلة، قم بتمكين تسجيل eBPF (يتطلب إعادة بناء):
# بناء OmniUPF مع BPF_ENABLE_LOG=1
```

المشكلة: خريطة eBPF ممتلئة (استهلاك السعة)

الأعراض:

- فشل إنشاء الجلسات
- سعة الخريطة عند 100%

التشخيص:

```
# تحقق من سعة الخريطة
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] | {map_name,
capacity, used, usage_percent}'

# تحديد الخرائط الممتلئة
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] |
select(.usage_percent > 90)'
```

التخفيف الفوري:

```
# 1. تحديد الجلسات القديمة
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[] | {seid,
uplink_teid, created_at}'

# 2. حذف الجلسات القديمة اطلب من SMF
# (الإدارية أو واجهة برمجة التطبيقات SMF عبر واجهة)

# 3. مراقبة انخفاض استخدام الخريطة
watch -n 5 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq ".
[] | select(.map_name==\"pdr_map_downlin\") | .usage_percent"'
```

الحل على المدى الطويل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
max_sessions = 200_000    # 000_100 زيادة من

# أو تعيين أحجام الخرائط الفردية
far_map_size = 400_000
qer_map_size = 200_000
```

مهم: تغيير أحجام الخرائط يتطلب إعادة تشغيل OmniUPF **و يمسح جميع الجلسات الحالية**.

مشاكل الأداء

المشكلة: معدل نقل منخفض (أقل من المتوقع)

الأعراض:

- معدل النقل < 1 Gbps على الرغم من وجود NIC قادر
- استخدام CPU مرتفع

التشخيص:

```
# تحقق من معدل الحزم
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.total_rx,
.total_tx'

# تحقق من إحصائيات NIC
ethtool -S eth0 | grep -i drop

# تحقق من وضع XDP
ip link show eth0 | grep xdp
```

الحلول:

استخدام وضع XDP العام

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_attach_mode = "native"    # يتطلب NIC/سائق يدعم XDP
```

اختناق أحادي النواة

الحل:

```
# تمكين RSS (توزيع جانب الاستقبال) على NIC
ethtool -L eth0 combined 4  # استخدم 4 قوائم RX/TX

# تحقق من تمكين RSS
ethtool -l eth0

# تثبيت المقاطعات على وحدات المعالجة المركزية المحددة
# انظر /proc/interrupts واستخدم irqbalance أو التوافق اليدوي
```

زيادة التخزين المؤقت

الحل:

```
تتم إدارة حدود التخزين المؤقت بواسطة وحدة التحكم Elixir.
تحقق من تكوين التخزين المؤقت في /etc/omniupf/runtime.exs.
```

المشكلة: تأخير مرتفع

الأعراض:

- تأخير ping > 50ms
- تدهور تجربة المستخدم

التشخيص:

```
# اختبار التأخير إلى UE
ping -c 100 <UE_IP> | grep avg

# تحقق من الحزم المخزنة مؤقتًا
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq
'.total_packets_buffered'

# تحقق من أداء ذاكرة التخزين المؤقت للتوجيه
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'
```

الحلول:

الحزم المخزنة مؤقتًا بشكل مفرط

الحل:

```
# تحقق من سبب تخزين الحزم مؤقتًا
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq '.buffers[]
| {far_id, packet_count, direction}'

# امسح التخزين المؤقت إذا كان عالقًا
# (إعادة تشغيل OmniUPF أو تفعيل تعديل جلسة PFCP لتطبيق FAR)
```

تأخير بحث FIB

الحل:

```
# (خيار وقت البناء) تأكد من تمكين ذاكرة التخزين المؤقت للتوجيه
# بناء مع BPF_ENABLE_ROUTE_CACHE=1

# تحسين جدول التوجيه
# استخدم مسارات أقل، وأكثر تحديدًا بدلاً من العديد من المسارات الصغيرة
```

المشكلة: إسقاط الحزم تحت الحمل

الأعراض:

- معدل الإسقاط يزداد مع حركة المرور
- أخطاء RX على NIC

التشخيص:

```
# تحقق من أخطاء NIC
ethtool -S eth0 | grep -E "drop|error|miss"

# تحقق من حجم حلقة التخزين المؤقت
ethtool -g eth0

# مراقبة الإسقاط في الوقت الحقيقي
watch -n 1 'ethtool -S eth0 | grep -E "drop|miss"'
```

الحل:

```
# زيادة حجم حلقة التخزين المؤقت RX
ethtool -G eth0 rx 4096

# زيادة حجم حلقة التخزين المؤقت TX
ethtool -G eth0 tx 4096

# تحقق من الإعدادات الجديدة
ethtool -g eth0
```

مشاكل محددة بالهايبرفايزر

للحصول على تعليمات تكوين الهايبرفايزر خطوة بخطوة، راجع دليل أوضاع XDP.

Proxmox: XDP لا يعمل في VM

الأعراض:

- في الوضع الأصلي XDP لا يمكن إرفاق برنامج
- يعمل فقط الوضع العام

السبب: VM تستخدم الشبكات الموصولة بدون SR-IOV

الحل:

الخيار 1: استخدم الوضع العام (الأبسط)

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_attach_mode = "generic"
```

الخيار 2: تكوين تمرير SR-IOV

```
# على مضيف Proxmox:
# 1. تفعيل IOMMU
nano /etc/default/grub
# أضف: intel_iommu=on iommu=pt
update-grub
reboot

# 2. إنشاء VFs
echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs

# 3. تخصيص VF لـ VM في واجهة Proxmox
# جهاز → إضافة → الأجهزة PCI → اختر VF
```

في `/etc/omniupf/runtime.exs`:

```
xdp_interfaces = "ens1f0"    # SR-IOV VF
xdp_attach_mode = "native"
```

VMware: مطلوب وضع promiscuous

الأعراض:

- الحزم غير مستلمة بواسطة OmniUPF

السبب: vSwitch يمنع عناوين MAC غير المطابقة

الحل:

```
# تفعيل وضع promiscuous على vSwitch (في عميل vSphere):
# 1. اختر vSwitch → تحرير الإعدادات
# 2. وضع → الأمان promiscuous: قبول
# 3. تغييرات عنوان → الأمان MAC: قبول
# 4. النقل المزيف: قبول → الأمان
```

VirtualBox: الأداء منخفض جداً

الأعراض:

- معدل النقل < 100 Mbps

السبب: VirtualBox لا يدعم SR-IOV أو XDP الأصلي

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_attach_mode = "generic"    # الخيار الوحيد لـ VirtualBox
```

تحسين إعدادات VirtualBox:

- استخدم محول VirtIO-Net (إذا كان متاحاً)

- تفعيل وضع "السماح للجميع" promiscuous
- تخصيص المزيد من أنوية المعالج لـ VM
- استخدم الشبكات الموصولة بدلاً من NAT
- النظر في الانتقال إلى KVM/Proxmox للحصول على أداء أفضل

مش كل NIC والسائق

المشكلة: سائق NIC لا يدعم XDP

الأعراض:

```
ERRO[0000] فشل في إرفاق برنامج XDP: العملية غير مدعومة
```

التشخيص:

```
# تحقق من سائق NIC
ethtool -i eth0 | grep driver

# تحقق مما إذا كان السائق يدعم XDP
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# قائمة الواجهات القابلة لـ XDP
ip link show | grep -B 1 "xdpgeneric\|xdpdrv\|xdpoffload"
```

الحل:

الخيار 1: استخدم الوضع العام

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_attach_mode = "generic"
```

الخيار 2: تحديث سائق NIC

```
# تحقق من تحديثات السائق (Ubuntu)
sudo apt update
sudo apt install linux-modules-extra-$(uname -r)

# أو تثبيت سائق محدد من البائع
# مثال لـ Intel:
# تحميل من https://downloadcenter.intel.com/
```

الخيار 3: استبدال NIC

```
# استخدم NIC قابل لـ XDP:
# - Intel X710، E810
# - Mellanox ConnectX-5، ConnectX-6
# - Broadcom BCM57xxx (سائق bnxt_en)
```

المشكلة: السائق يتعطل أو تحدث حالات ذعر في النواة

الأعراض:

- حالة ذعر في النواة بعد إر��اق XDP
- يتوقف عن الاستجابة NIC

التشخيص:

```
# تحقق من سجلات النواة
dmesg | tail -100

# تحقق من أخطاء السائق
journalctl -k | grep -E "BUG:|panic:"
```

الحل:

```
# 1. تحديث النواة والسائقين
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo reboot

# 2. في /etc/omniupf/runtime.exs، تعطيل تحميل XDP (استخدم الأصلي
فقط)
# xdp_attach_mode = "native"

# 3. استخدم الوضع العام كحل مؤقت
# xdp_attach_mode = "generic"

# 4. أبلغ عن خطأ إلى بائع NIC أو فريق نواة Linux
```

المشكلة: أخطاء تحقق SLAAC IPv6 المتقطعة / أخطاء UDP (generic-XDP + virtio)

الأعراض:

```
# UEs IPv6 عبر SLAAC بشكل متقطع (~50%) لا تشكل عنواناً عالمياً.
# يتم إصدار RA بواسطة UPF بواسطة رؤيته أبداً ولكن لا يتم RAN.
# على eNB/gNB (أو أي مضيف تابع) يرتفع عداد أخطاء تحقق UDP في
النواة،
# واحدة لكل RA مفقودة:
nstat -az | grep UdpInCsumErrors      # يرتفع خلال محاولات SLAAC
الفاشلة
```

- على **فقط** يؤثر SLAAC IPv6 / بيانات خطة الم��تخدم سليمة — إعلانات الموجه.
- عندما تهبط **فقط** يحدث SGW-U و PGW-U **مختلفة** لحامل على أعضاء مجموعة على نفس الصندوق دائماً ينجح SGW-U+PGW-U (مفصولة)؛ حامل.

السبب: يتم إنشاء إعلان الموجه في **مساحة المستخدم** (خطة التحكم)، لذا يتم وضع علامة على مسار البيانات لديه NIC؛ `CHECKSUM_PARTIAL`) TX مخزن المقبس الخاص به لتحميل تحقق `tx-checksum-ip-generic: on`). في مسار بيانات **XDP**، تكون الحزمة **الوضع العام**، فإنه يعيد كتابة RA، من مجموعة مفصولة بإعادة توجيه SGW-U عندما يقوم عضو: `skb` المرسلة يحتفظ بـ `skb` لكن، `udp->check` ويصفر TEID + الخارجي IP `csum_start`/`csum_offset` على الحزمة المعدلة من ذلك الإزاحة UDP تحقق NIC (virtio) القديم. عند الخروج، يعيد حساب

XDP-native القديمة، مما ينتج عنه تحقق خاطئ، ويتجاهلها المستلم. حركة مرور خطة المستخدم NIC لذا لا يعيد ،(تحقق صفر حقيقي) `CHECKSUM_NONE` مع eBPF غير متأثرة لأنها مبنية في الأصلية/التحميل لا تتأثر XDP فقط يت��طل. أوضاع SLAAC حسابها — وهذا هو السبب في أن **يقوم NIC** ؛ إنها محددة لـ **الوضع العام على**(لا إعادة حساب التحميل، skb لا يوجد) بهذا **بتحميل التحقق** (مثل virtio).

الحل:

```
# تعطيل تحميل تحقق TX على NIC (المسار) تحقق النواة حتى تحسب UDP
# بشكل صحيح للحزم التحكمية التي تنشأ من مساحة المستخدم. يقوم XDP
# بتجاوز مسار تحقق النواة، لذا فإن معدل النقل للأمام غير متأثر.
ethtool -K <n3_iface> tx off
ethtool -K <n6_iface> tx off

# تحقق (يجب أن تقرأ "off"):
ethtool -k <n3_iface> | awk '/^tx-checksumming/{print}'

# يجب أن ينجح: إعادة الاختبار SLAAC يبقى ويجب أن الآن لكل حامل
UdpInCsumErrors ثابتاً.
```

> حتى تبقى بعد إعادة التشغيل. حيثما يدعم (NIC مثل وحدة تشغيل) اجعلها دائمة في نشراتك ذلك، فإن وضع NIC الأصلي XDP (`xdp_attach_mode: native`) يتجنب المشكلة تماماً.

فشل إنشاء الجلسة

المشكلة: فشل إنشاء الجلسة

الأعراض:

- SMF يبلغ عن فشل إنشاء الجلسة
- UE لا ي��كنه إنشاء جلسة PDU

مرجع رموز أسباب راجع PFCP لسيناريوهات الفشل الشائعة والحلول.

التشخيص:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء الجلسة
journalctl -u omniupf | grep -i "session establishment"

# تحقق من عدد جلسات PFCP
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq 'length'

# التقاط حركة مرور PFCP أثناء إنشاء الجلسة
tcpdump -i any -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_session.pcap
```

الأسباب الشائعة:

سعة الخريطة ممتلئة

الحل:

```
# تحقق من استخدام الخريطة
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] |
select(.usage_percent > 90)'

# زيادة السعة (راجع قسم الخريطة eBPF أعلاه الممتلئة)
```

معلمات PDR/FAR غير صالحة

الحل:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء التحقق
journalctl -u omniupf | grep -E "invalid|error" | tail -20

# المشاكل الشائعة:
# - عنوان IP غير صالح لـ UE (0.0.0.0 أو مكرر)
# - TEID غير صالح (0 أو مكرر)
# - FAR مفقود لـ PDR
# - إجراء FAR غير صالح

# تحقق من تكوين SMF ومعلمات الجلسة
```

الميزة غير مدعومة (UEIP/FTUP)

الحل:

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.60.0.0/16"

feature_ftup = true
teid_pool_start = 1
teid_pool_end = 100_000
```

مشاكل التخزين المؤقت

المشكلة: حزم عالقة في التخزين المؤقت

الأعراض:

- عدد الحزم المخزنة في الذاكرة يزداد
- الحزم غير مسلمة بعد التحويل

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات التخزين المؤقت
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info

# تحقق من التخزين المؤقت الفردي لـ FAR
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq '.buffers[]
| {far_id, packet_count, oldest_packet_ms}'

# مراقبة حجم التخزين المؤقت
watch -n 5 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info |
jq ".total_packets_buffered"'
```

الأسباب والحلول:

FORWARD لم يتم تحديثه إلى FAR

السبب: SMF لم ترسل أبداً تعديل جلسة PFCP لتطبيق FAR

الحل:

```
# تحقق من حالة FAR
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
{far_id, applied_action}'

# الإجراء BUFF = 1 (التخزين المؤقت)
# الإجراء FORW = 2 (الإرسال)

# إذا كانت عالقة في حالة BUFF، اطلب من SMF:
# - إرسال طلب تعديل جلسة PFCP
# - تحديث FAR بإجراء FORW
```

انتهاء صلاحية TTL للتخزين المؤقت

السبب: انتهت صلاحية الحزم قبل تحديث FAR

الحل: يتم إدارة TTL للتخزين المؤقت بواسطة خطة التحكم Elixir. تحقق من تكوين التخزين المؤقت في `/etc/omniupf/runtime.exs`.

تجاوز التخزين المؤقت

السبب: عدد كبير جداً من الحزم المخزنة لكل FAR

الحل: تتم إدارة حدود التخزين المؤقت بواسطة خطة التحكم Elixir. تحقق من تكوين التخزين المؤقت في `/etc/omniupf/runtime.exs`.

تصحيح الأخطاء المتقدمة

تفعيل تسجيل الأخطاء

```
# في /etc/omniupf/runtime.exs
log_level = :debug    # :debug | :info | :warning | :error
```

```
# إعادة تشغيل OmniUPF مع تسجيل الأخطاء
sudo systemctl restart omniupf

# مراقبة السجلات في الوقت الحقيقي
journalctl -u omniupf -f --output cat
```

تتبع برنامج eBPF

```
# تتبع تنفيذ برنامج eBPF (يتطلب bpftrace)
sudo bpftrace -e 'tracepoint:xdp:* { @[probe] = count(); }'

# تتبع عمليات الخريطة
sudo bpftrace -e 'tracepoint:bpf:bpf_map_lookup_elem {
printf("%s\n", str(args->map_name)); }'
```

التقاط الحزم باستخدام XDP

فهم قيود التقاط الحزم باستخدام XDP:

يقوم XDP بمعالجة الحزم **قبل** كومة الشبكة في النواة، لذا فإن `tcpdump` القياسي **لا يمكنه رؤية حركة المرور المعالجة بواسطة XDP**. يتم معالجة حزم GTP-U (منفذ UDP 2152) على N3 بواسطة XDP ولن تظهر في tcpdump على مضيف UPF.

طرق موصى بها لتحليل الحركة:

```
# الطريقة 1: استخدم واجهة برمجة التطبيقات للإحصائيات للمراقبة (موصى
بها)
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats

# الطريقة 2: التقاط حركة مرور PFCP (غير متأثرة بـ XDP)
tcpdump -i any -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp.pcap

# الطريقة 3: التقاط الحزم خارج النطاق (موصى بها لـ GTP-U)
# استخدم TAP أو تكرار منفذ التبديل لالتقاط الحركة
# أمثلة:
# - TAP مادي بين gNB و UPF
# - منفذ SPAN/مرور تكرار التبديل ينسخ حركة N3 إلى المحلل
# - تكرار منفذ التبديل الافتراضي في الهايبرفايزر
#
# على مضيف الالتقاط (ليس UPF):
# tcpdump -i <mirror_interface> -n udp port 2152 -w
/tmp/n3_mirror.pcap
```

أمثلة إعداد الالتقاط خارج النطاق:

الشبكة الفيزيائية:

```
# استخدم TAP أو قم بتكوين تكرار منفذ التبديل
# مثال: تكوين SPAN للتبديل Cisco
(config)# monitor session 1 source interface Gi1/0/1
(config)# monitor session 1 destination interface Gi1/0/24

# على مضيف المراقبة المتصل بـ Gi1/0/24:
tcpdump -i eth0 -n udp port 2152 -w /tmp/n3_capture.pcap
```

البيئة الافتراضية (VMware، KVM، إلخ):

```
# تكوين تكرار منفذ التبديل الافتراضي لإرسال حركة مرور UPF إلى VM المحلل
# مثال: جسر Linux مع tcpdump على VM مختلف
# قم بتكرار واجهة UPF الخاصة بـ N3 على الهايبرفايزر، إلى واجهة VM المحلل

# على VM المحلل:
tcpdump -i eth1 -n udp port 2152 -w /tmp/n3_virtual.pcap
```

لماذا يتطلب الأمر خارج النطاق:

- يقوم XDP بتجاوز كومة الشبكة في النواة تماماً
- أو الأجهزة NIC تتم معالجة الحزم في سائق
- يرى tcpdump القائم على المضيف الحزم بعد معالجة XDP (متأخر جداً)
- يرى UPF الالتقاط خارج النطاق حركة المرور الخام قبل معالجة

ما يمكنك التقاطه على مضيف UPF:

- ✅ حركة مرور PFCP (UDP 8805) - غير معالجة بواسطة XDP، خطة التحكم
- ✅ استجابات واجهة برمجة التطبيقات والإحصائيات
- ✅ حركة مرور GTP-U (UDP 2152) - معالجة بواسطة XDP، خطة البيانات

الحصول على المساعدة

إذا لم تحل خطوات استكشاف الأخطاء مشكلتك:

1. **جمع معلومات التشخيص**:

```
# معلومات النظام
uname -a
cat /etc/os-release

# معلومات OmniUPF
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_status
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats

# السجلات
journalctl -u omniupf --since "1 hour ago" >
/tmp/omniupf.log
dmesg > /tmp/dmesg.log

# معلومات الشبكة
ip addr > /tmp/network.txt
ip route >> /tmp/network.txt
ethtool eth0 >> /tmp/network.txt
```

2. مع **الإبلاغ عن المشكلة**:
    - إصدار OmniUPF
    - إصدار نواة Linux
    - رسم تخطيطي لتوبولوجيا الشبكة
    - ملف التكوين (احذف المعلومات الحساسة)
    - مقتطفات السجل ذات الصلة
    - خطوات لإعادة الإنتاج

الوثائق ذات الصلة

- **دليل التكوين** - معلمات التكوين والأمثلة
- **دليل الهندسة المعمارية** - تفاصيل eBPF/XDP وضبط الأداء
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات والسعة والتنبيهات
- **مرجع المقاييس** - مقاييس Prometheus لاستكشاف الأخطاء
- **رموز أسباب PFCP** - رموز أخطاء PFCP واستكشاف الأخطاء
- **دليل إدارة القواعد** - مفاهيم URR و QER و FAR و PDR

- ونظرة عامة UPF **دليل العمليات** - هندسة

OmniUPF حديقة محصورة / إعادة توجيه خارج الرصيد

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. العمارة
3. تدفق إشارة PFCP
4. كشف البوابة المحتجزة
5. التكوين
6. إدارة القائمة البيضاء
7. روابط إعادة التوجيه لكل جلسة
8. API
9. مقاييس بروميثيوس
10. استكشاف الأخطاء وإصلاحها

نظرة عامة

تقدم ميزة الحديقة المحصورة UPF، مما **تطبيقًا محليًا لفرض عدم وجود رصيد** مباشرة في يلغي الحاجة إلى أنظمة فرض خارجية (قوائم عناوين MikroTik، قواعد المانجل، DNAT).

يحتوي على FAR مع PFCP تعديل جلسة SMF عندما ينفد رصيد المشترك، يرسل `redirect_information`. يقوم OmniUPF باعتراض كل حركة المرور لتلك الجلسة في مساحة المستخدم ويفرض تجربة بوابة محتجزة:

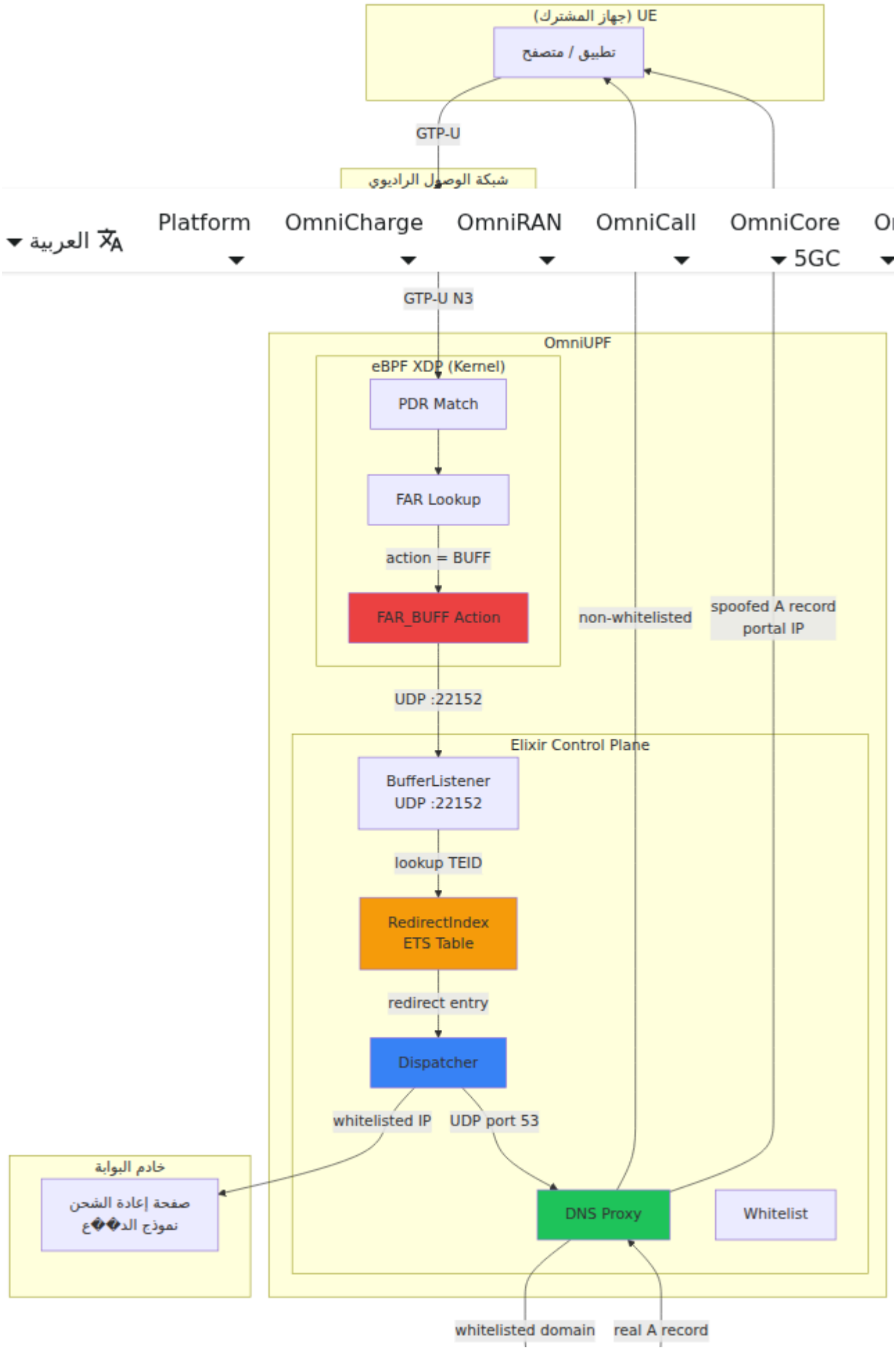
- **استعلامات** يتم تزوير **DNS** لإرجاع عنوان IP لخادم البوابة، مما يؤدي إلى كشف البوابة المحتجزة على جميع الأجهزة الرئيسية (Apple، Android، Windows)
- **المدرجة في القائمة البيضاء IP** يتم توجيه **الحركة إلى البوابة وعناوين** بشكل طبيعي حتى يتمكن المشترك من إعادة (CAPTCHA معالجات الدفع، خدمات الشحن
- بصمت **يتم إسقاط جميع الحركات الأخرى**

يرى المشترك مطالبة ببوابة محتجزة ويتم توجيهه إلى صفحة إعادة الشحن / الدفع. بمجرد استعادة الرصيد، يقوم SMF بتحديث FAR إلى FORW مرة أخرى على العادية التوجيه عملية وتستأنف الفور.

نقاط التصميم الرئيسية

- **لا حاجة لتغييرات eBPF** -- يعيد استخدام إجراء `FAR_BUFF` الحالي لإعادة توجيه الحزم إلى مساحة المستخدم
- **إعادة توجيه لكل جلسة** -- يمكن أن تحتوي كل جلسة على عنوان IP للبوابة ورابط إعادة توجيه مختلف، تحدده IE `redirect_information` في SMF
- **تعيش القائمة البيضاء على UPF** -- يقول SMF؛ فقط "إعادة توجيه هذه الجلسة" يقرر UPF ما هي الحركة التي سيسمح بها
- **اعتراض فقط في الاتجاه الصاعد** -- تبقى FAR في الاتجاه النازل حتى FORW تصل ردود البوابة إلى UE عبر مسار GTP العادي

العمارة


UE (جهاز المشترك)
تطبيق / متصفح
GTP-U
شبكة الوصول الراديوي
العربية
Platform
OmniCharge
OmniRAN
OmniCall
OmniCore
5GC
GTP-U N3
OmniUPF
eBPF XDP (Kernel)
PDR Match
FAR Lookup
action = BUFF
FAR_BUFF Action
non-whitelisted
spoofed A record
portal IP
UDP :22152
Elixir Control Plane
BufferListener
UDP :22152
lookup TEID
RedirectIndex
ETS Table
redirect entry
Dispatcher
whitelisted IP
UDP port 53
خادم البوابة
صفحة إعادة الشحن
نموذج الد��ع
DNS Proxy
Whitelist
whitelisted domain
real A record



تدفق الحزم

1. **يرسل UE حزمة في الاتجاه الصاعد** (استعلام DNS، طلب HTTP، إلخ) عبر GTP-U إلى UPF
2. **تطابق eBPF PDR** يجد PDR المطابق، ويبحث عن FAR
3. **إجراء FAR هو BUFF** (عندما يكون إعادة التوجيه نشطًا من FORW تم تجاوزها) -- ترسل eBPF الحزمة إلى BufferListener على منفذ UDP 22152
4. **BufferListener** يستخرج TEID، ويتحقق من جدول RedirectIndex ETS
5. إذا كان TEID في RedirectIndex: **Dispatcher** يعالج حزمة IP الداخلية
6. **شجرة القرار**:
   - استعلام DNS لنطاق غير مدرج في القائمة البيضاء: تزوير سجل A مع IP البوابة
   - استعلام DNS لنطاق مدرج في القائمة البيضاء: توجيه إلى المحلّل الحقيقي، تخزين عناوين IP المحلولة
   - المدرج في القائمة البيضاء: توجيه عبر IP البوابة أو IP حركة المرور إلى مقبس خام
   - كل شيء آخر: إسقاط بصمت
7. **ردود DNS/GTP-U** تُرسل مرة أخرى إلى UE عبر مسار GTP-U في الاتجاه النازل (مغلفة مع DL TEID وإرسالها إلى gNB)

معالجة حلقة N9 (جلسة SGW + PGW مزدوجة)

في نشرات EPC 4G، يعمل OmniUPF غالبًا كـ **SGW-U و PGW-U** على **في نفس الوقت**. تحتوي جلسة PFCP منفصلة. يقوم SGW نفس العقدة و SGW-C و PGW-C كل منهما بإنشاء جلسة حلقة عبر واجهة (PGW في الاتجاه الصاعد لجلسة TEID الذي يوجه الحزم إلى FAR N9 على N3). تقوم جلسة PGW بتنفيذ فرض سياسة المشترك الفعلي.

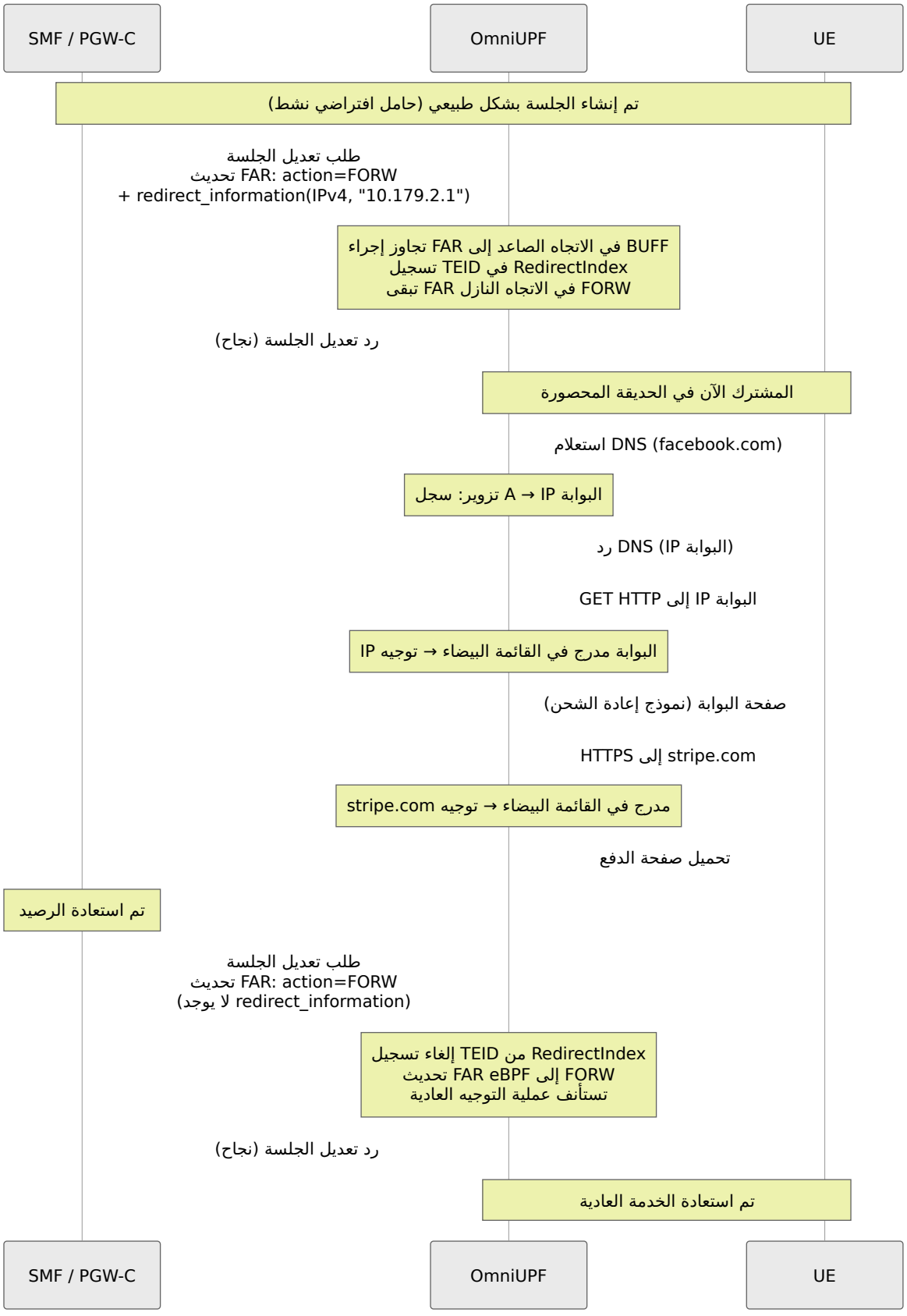
عند تفعيل إعادة توجيه الحديقة المحصورة عبر `POST /v1/walled_garden`، تكتشف منطق التفعيل هذه الطوبولوجيا تلقائيًا:

1. يتم تحديد **جلسة PGW TEID** من PDRs في الاتجاه الصاعد لـ SEID المستهدف.

2. تحتوي على (جلسة SGW) للعثور على جلسة PFCP يقوم الكود بفحص جميع جلسات PGW ولديها في الاتجاه الصاعد لـ TEIDs الخاص بها مطابقًا لأحد `teid` يكون FAR `outer_header_creation` مضبوط. تلك FAR هي FAR التوجيه N9 الموجه نحو PGW.
3. **كلاهما** في الاتجاه الصاعد المواجهة لـ FARs في PGW و FARs في الاتجاه الصاعد لـ gNB `BUFF` في خريطة eBPF. هذا ضروري لأن برنامج eBPF يرى من SGW يتم تجاوزها إلى الحزمة كما تصل من eNB مع TEID الخاص بـ SGW، وليس TEID الخاص بـ PGW.
4. فقط **PDRs لـ المواجهة الصاعد الاتجاه في gNB من SGW** يتم تسجيلها في RedirectIndex (ليس PDRs في الاتجاه الصاعد لـ PGW). TEID PDR في الاتجاه الصاعد لـ SGW هو ما ستراه eBPF في الحزمة الواردة من eNB.
5. **مسار** بالنسبة لـ **DL** (إرسال الردود مرة أخرى إلى UE)، يستخدم Dispatcher **FAR DL لجلسة SGW** (FAR الذي يوجه نحو eNB، مع `remoteip != n3_address`). تحتوي هذه FAR على TEID الحالي لـ eNB وعنوان IP لـ gNB. يتم البحث عن DL TEID مباشرة من حالة الجلسة في وقت الرد، وليس مخزنة في وقت التفعيل - هذا يتعامل مع الحالة التي يتم فيها تعيين TEID لـ eNB بواسطة تعديل جلسة لاحق بعد تفعيل إعادة التوجيه.

مباشرة UPF في طوبولوجيا (لا يوجد SGW، يتحدث SMF مباشرة إلى UPF)، يتم تضمين PDRs في الاتجاه شيئًا وتُسجل SGW الخاصة بالجلسة فقط - لا يجد كود اكتشاف TEIDs و FARs الصاعد للجلسة الرئيسية مباشرة.

تدفق إشارة PFCP



عناصر PFCP المعنية

يقوم SMF بتحفيز إعادة التوجيه عن طريق تضمين `redirect_information` في `forwarding_parameters` لـ FAR:

IE	الوصف
`apply_action`	مضبوط على FORW بواسطة SMF (يتم تجاوزه إلى BUFF داخليًا بواسطة UPF)
`redirect_information`	يحتوي على نوع إعادة التوجيه والعنوان
`forwarding_parameters`	يحتوي على `redirect_information` و `outer_header_creation`

أنواع معلومات إعادة التوجيه (حسب 3GPP TS 29.244 الجدول 8.2.20-1):

النوع	القيمة	سلوك UPF
IPv4	0	للبوابة IP المقدمة كعنوان IPv4 استخدم سلسلة عنوان
IPv6	1	للبوابة IP المقدمة كعنوان IPv6 استخدم سلسلة عنوان
URL	2	للبوابة. لا يتم IP ؛ استخدم ذلك كعنوانIP إلى URL حل اسم المضيف فقط للرؤية. API يتم تخزينه في -- UPF بواسطة URL استخدام مسار يتحمل خادم الويب للبوابة مسؤولية التعامل مع أي توجيه قائم على المسار.
SIP URI	3	غير مدعوم حاليًا

كشف البوابة المحتجزة

تقوم الحديقة المحصورة بتحفيز **كشف تلقائي للبوابة المحتجزة** على جميع منصات الأجهزة عندما يتصل جهاز ويحاول التحقق من الاتصال بالإنترنت، .DNS الرئيسية عن طريق تزوير ردود

المزور بإعادة توجيه هذه الفحوصات إلى DNS يقوم باستعلام عن نطاقات معروفة. يقوم رد IP البوابة، الذي يفسره الجهاز على أنه بوابة محتجزة.

نطاقات كشف المنصة

المنصة	نطاق الكشف	الاستجابة المتوقعة
Apple (iOS/macOS)	`captive.apple.com`	HTTP 200 مع `<HTML> <HEAD> <TITLE>نجاح</TITLE> </HEAD> <BODY>نجاح</BODY> </HTML>`
Android	`connectivitycheck.gstatic.com`	HTTP 204
Windows	`www.msftconnecttest.com`	HTTP 200 مع `Microsoft Connect Test`
Samsung	`connectivitycheck.samsung.com`	HTTP 200

البوابة بدلاً من عناوينها الحقيقية، يكتشف الجهاز بوابة محتجزة IP عندما يتم حل هذه النطاقات إلى ويعرض صفحة البوابة للمستخدم إما كـ:

- إشعار / نافذة منبثقة (iOS، Android)
- إعادة توجيه تلقائية للمتصفح (Windows)

البوابة المكون تقديم استجابات مناسبة لهذه عناوين الكشف ثم IP يجب على خادم البوابة عند إعادة التوجيه إلى صفحة إعادة الشحن / الدفع.

متطلبات خادم البوابة (افتراضي vHost / مخصص IP)

يجب على البوابة تقديم صفحة البوابة المحتجزة *كـ الاستجابة الافتراضية* لعنوان IP الخاص بها، بغض النظر عن رأس HTTP `Host`. في الممارسة العملية، يعني هذا إعطاء البوابة **عنوان IP** مخصص خاص بها**vHost** أو جعلها على مضيف مشترك **افتراضي**.

تتبع هذه المتطلبات مباشرة من كيفية عمل الحديقة المحصورة:

1. البوابة -- IP **غير المدرج في القائمة البيضاء** إلى **DNS** يتم **تزوير كل استعلام** بما في ذلك استعلامات فحص البوابة المحتجزة الخاصة بالمنصة (`connectivitycheck.gstatic.com`، `captive.apple.com`، `www.msftconnecttest.com`، ...).
2. ثم يفتح UE HTTP إلى IP البوابة، لكن الطلب يحمل رأس `Host` الخاص بـ **الفحص** (على سبيل المثال، `Host: connectivitycheck.gstatic.com`)، وليس اسم المضيف الخاص بالبوابة.
3. يقوم UPF بتوجيه هذا الطلب إلى خادم البوابة **كما هو، دون إعادة كتابة رأس** `Host` (انظر توجيه المقبس الخام).

vHost افتراضي قائم على الاسم -- أي أن صفحة البوابة تُقدم البوابة هو IP إذا ك��ن مشترك مع IP معينة وأن vhosts أخرى -- فلن يجد الخادم يتطابق مع vhost فقط لقيمة `Host:` رأس `Host` بدلاً من ذلك، وهو الصفحة الخاطئة. **vhost الافتراضي** الخاص بالفحص وسيقدم موقع افتراضي، CRM، تطبيق آخر) IP ينتهي المشترك على أي شيء آخر مستضاف على ذلك (فارغ بدلاً من صفحة إعادة الشحن.

افعل هذا:

- IP يتم تقديمه بواسطة ذلك `Host` أي) **خاص بها IP** أعطِ البوابة المحتجزة **عنوان** يعيد صفحة البوابة)، **أو**
- غير `Host:` **افتراضي** على المضيف المشترك، بحيث تسقط أي **vHost** اجعل البوابة متطابق إلى صفحة البوابة.

تجنب: توجيه `walled_garden_portal_ip` أو نوع URL `redirect_information` الذي *ليست* صفحة البوابة. لا يقوم HTTP يكون **الاستجابة الافتراضية** IP إلى (يحل اسمه بإجراء UPF اختيار vhost قائم على `Host` أو إعادة كتابة `Host` نيابة عن البوابة.

التكوين

يعيش ��كوين الحديقة المحصورة في ملف التكوين في وقت التشغيل. في تثبيت الإنتاج (`.deb` package)، يكون ملف التكوين في `/etc/omniupf/runtime.exs`. يتحقق نص بدء التشغيل من وجود هذا الملف، وإذا كان موجودًا، يضبط (`rel/env.sh`) للإصدار `RELEASE_CONFIG_DIR=/etc/omniupf` بحيث يستخدم الإصدار Erlang بدلاً من `config/runtime.exs` المدمج. يجب إعادة تشغيل UPF بعد تغييرات التكوين.

```
#
================================================================
# حديقة محصورة / إعادة توجيه خارج الرصيد
#
================================================================

# تمكين فرض إعادة توجيه الحديقة المحصورة
walled_garden_enabled = true

# عنوان IP لخادم البوابة (بوابة محتجزة / صفحة إعادة الشحن)
walled_garden_portal_ip = "10.179.2.1"

# عنوان خادم البوابة IPv6 الاختياري للمشتركين (IPv6 احتياطي)
walled_garden_portal_ip6 = "fd00:179:2::1"

# محلل DNS العلوي لاستعلامات النطاق المدرج في القائمة البيضاء
walled_garden_dns_resolver = "8.8.8.8"

# طاقات المدرجة في القائمة البيضاء (يمكن للمشتركين الوصول إليها أثناء
(إعادة التوجيه
# يدعم الأحرف البديلة: "*.stripe.com" يتطابق مع "api.stripe.com"
walled_garden_whitelist = [
  "stripe.com",
  "*.stripe.com",
  "js.stripe.com",
  "hcaptcha.com",
  "*.hcaptcha.com",
  "newassets.hcaptcha.com",
]
```

المعلمات

المعلمة	النوع	مطلوب	الافتراضي	
`walled_garden_enabled`	Boolean	لا	`false`	ة الحديقة ندما يكون يتم تجاهل `redirec` FARs.
`walled_garden_portal_ip`	String (IPv4)	نعم (إذا تم تمكينه)	`10.179.2.1`	IP / عنوان ن. هذا هو المستخدم م المضيف `redire` لـ في SMF، التوجيه هو سبة لأنواع لعنوان من لنسبة لنوع وقت إنشاء
`walled_garden_portal_ip6`	String (IPv6)	لا	`nil`	ة الاختياري لمشتركين م بها IPv6 استخدام `walled_` ن .IPv4 لـ دة التوجيه غير متاح.
`walled_garden_dns_resolver`	String (IPv4)	لا	`8.8.8.8`	DNS محلل للنطاقات بيضاء. يتم اق المدرج ط إلى هذا

المعلمة	النوع	مطلوب	الافتراضي	
				زوير جميع خرى محليًا
`walled_garden_whitelist`	قائمة من السلاسل	لا	`[]`	التي يمكن إليها أثناء لمحصورة. ضاء لكتابة الأنماط.

إدارة القائمة البيضاء

التي يمكن ��لمشتركين (المحلولة الخاصة بها IP وعناوين) تتحكم القائمة البيضاء في النطاقات فقط SMF يقوم -- SMF وليس على UPF، الوصول إليها أثناء إعادة التوجيه. يتم تكوين ذلك على بتحفيز إعادة التوجيه.

بناء الجملة النمطية

النمط	يتطابق	لا يتطابق
`stripe.com`	`stripe.com`، `api.stripe.com`، `js.stripe.com`	`evilstripe.com`، `notstripe.com`
`*.stripe.com`	`api.stripe.com`، `js.stripe.com`، `dashboard.stripe.com`	`stripe.com` (بالضبط)، `evilstripe.com`
`hcaptcha.com`	`hcaptcha.com`، `newassets.hcaptcha.com`	`evihcaptcha.com`

تستخدم الأنماط: `stripe.com` يتطابق مع النطاق نفسه وأي نطاق فرعي (`foo.stripe.com`)، ولكن ليس النطاقات التي تحتوي فقط على السلسلة (`evilstripe.com`). المطابقة غير حساسة لحالة الأحرف. **تثبيت النطاق الفرعي**

تخزين IP المؤقت

عندما يقوم وكيل DNS بتوجيه استعلام لنطاق مدرج في القائمة البيضاء، يتم **تخزين عناوين IP المحلولة تلقائيًا** في القائمة البيضاء. هذا يعني:

1. يقوم المشترك باستعلام `api.stripe.com`
2. يقوم وكيل DNS بالتوجيه إلى المحلل الحقيقي، ويحصل على `203.0.113.7`
3. يتم إضافة IP المدرجة في القائمة `203.0.113.7` إلى ذاكرة التخزين المؤقت لعناوين البيضاء
4. يتم توجيه حركة HTTP/HTTPS (لا يتم إسقاطها) اللاحقة إلى `203.0.113.7`

يتم دائمًا إدراج IP في القائمة البيضاء بغض النظر عن التكوين البوابة.

النطاقات الموصى بها للقائمة البيضاء

لصفحة إعادة شحن نموذجية مع معالجة الدفع عبر Stripe و hCaptcha:

```
walled_garden_whitelist = [
  # معالج الدفع
  "stripe.com",
  "*.stripe.com",

  # خدمة CAPTCHA
  "hcaptcha.com",
  "*.hcaptcha.com",

  # خطوط Google (إذا كانت البوابة تستخدمها)
  "fonts.googleapis.com",
  "fonts.gstatic.com",

  # CDN لأصول البوابة (إذا كانت مستضافة خارجيًا)
  "cdn.example.com",
]
```

روابط إعادة التوجيه لكل جلسة

يمكن أن تحتوي كل جلسة PFCP. يتحكم **هدف إعادة توجيه مختلف** على SMF في ذلك عبر IE `redirect_information` في FAR:

- **نوع IPv4**: يتم تحليل سلسلة IP المقدمة واستخدامها كعنوان IP للبوابة لتلك الجلسة
- **نوع IPv6**: يتم تحليل سلسلة IPv6 المقدمة واستخدامها كعنوان IP للبوابة لتلك الجلسة
- **نوع URL**: يتم استخراج اسم المضيف وحله عبر DNS في وقت إنشاء FAR. يتم تخزينه فقط -- URL مسار UPF للبوابة. لا يستخدم IP المحلول كعنوان IP استخدام للرؤية في API.

هذا يمكّن السيناريوهات حيث تعيد مستويات مختلفة من المشتركين، MVNOs، أو خطط الخدمة التوجيه إلى بوابات مختلفة:

الجلسة	SMF redirect_information	البوابة IP المستخدم	ه
الجلسة A	`IPv4: 10.179.2.1`	`10.179.2.1`	`10.179.2.`
الجلسة B	`IPv6: 2001:db8::1`	`2001:db8::1`	`2001:db8:`
الجلسة C	`URL: https://topup.mvno.com/recharge`	IP المحلول لـ `topup.mvno.com`	`https://t`

يخزن UPF IP البوابة ورابط إعادة التوجيه لكل جلسة، والتي يمكن رؤيتها عبر API.

API

المسار الأساسي لجميع نقاط `/v1/walled_garden` (بدون بادئة `/api`). يتم تقديم هذه النقاط بواسطة خادم HTTP Phoenix على `api_port` المكون (الافتراضي: 8080).

GET /v1/walled_garden

يعيد جميع جلسات إعادة التوجيه النشطة في الحديقة المحصورة، وعناوين IP المدرجة في القائمة المخزنة، وتفاصيل الجلسة CIDR البيضاء، ونطاقات.

الاستجابة:

```
{
  "redirect_count": 2,
  "redirects": [
    {
      "teid": "0x4000",
      "session_seid": 1,
      "portal_ip": "10.179.2.1",
      "redirect_url": null,
      "ue_ip": "10.60.0.1",
      "gnb_ip": "10.179.1.21",
      "dl_teid": "0x5000",
      "far_global_id": 42
    },
    {
      "teid": "0x4001",
      "session_seid": 2,
      "portal_ip": "10.179.2.2",
      "redirect_url": "https://topup.mvno.com",
      "ue_ip": "10.60.0.2",
      "gnb_ip": "10.179.1.21",
      "dl_teid": "0x5001",
      "far_global_id": 43
    }
  ],
  "whitelisted_ips": [
    {"ip": "10.179.2.1", "type": "portal"},
    {"ip": "203.0.113.7", "type": "resolved"},
    {"ip": "203.0.113.6", "type": "resolved"}
  ],
  "whitelisted_cidrs": ["192.168.0.0/24"]
}
```

حقول الاستجابة:

الحقل	الوصف
`redirect_count`	عدد جلسات الحديقة المحصورة النشطة
`redirects[].teid`	TEID (هيكس) في الاتجاه الصاعد الذي يتم اعتراضي
`redirects[].session_seid`	SEID لجلسة PFCP
`redirects[].portal_ip`	البوابة لهذه الجلسة المحددة IP
`redirects[].redirect_url`	رابط إعادة التوجيه من SMF (إذا كان من نوع URL)، أو null
`redirects[].ue_ip`	عنوان IP لـ UE
`redirects[].gnb_ip`	عنوان IP لـ gNB لاستجابات GTP-U
`redirects[].dl_teid`	TEID في الاتجاه النازل لتغليف GTP-U
`redirects[].far_global_id`	معرف FAR العالمي الداخلي
`whitelisted_ips`	جميع عناوين IP الموجودة حاليًا في القائمة البيضاء (المخزنة DNS بوابة + حلول)
`whitelisted_cidrs`	نطاقات CIDR المضافة عبر API القائمة البيضاء

POST /v1/walled_garden

تفعيل إعادة توجيه الحديقة المحصورة على جلسة PFCP موجودة بواسطة SEID. هذا هو المسار المسار العادي هو عبر تعديل جلسة PFCP - API / الذي يتم تحفيزه بواسطة المشغل مفيدًا للاختبار وللمشغلين الذين يحتاجون API يعد مسار `redirect_information` في FAR. إلى إعادة توجيه جلسة يدويًا دون تدخل SMF.

جسم الطلب:

```
{
  "seid": 1,
  "url": "http://10.179.2.1/"
}
```

الحقل	النوع	مطلوب	الوصف
`seid`	عدد صحيح	نعم	SEID المحلي لجلسة PFCP لإعادة التوجيه
`url`	سلسلة	نعم	عنوان URL. إذا تم إعطاء URL، يتم حل اسم المضيف ويتم استخدام IP الناتج كعنوان IP للبوابة. يتم تخزين سلسلة URL الكاملة للرؤية في API.

الاستجابة (200 OK):

```
{
  "status": "redirect activated",
  "info": {
    "seid": 1,
    "sgw_seid": 7,
    "portal_ip": "10.179.2.1",
    "ue_ip": "10.60.0.1",
    "gnb_ip": "10.179.1.21",
    "ul_teids": ["0x4000", "0x4006"]
  }
}
```

حقل `sgw_seid` ليس فارغًا عندما يتم اكتشاف حلقة N9 (جلسة مزدوجة SGW + PGW) وتم تجاوز TEID أيضًا في الاتجاه الصاعد التي `ul_teids` جميع TEIDs في الاتجاه ال��اعد. تسرد تم تسجيلها في فهرس إعادة التوجيه.

استجابات الخطأ:

الحالة	المعنى
404	لم يتم العثور على الجلسة (SEID لا يتطابق مع أي جلسة PFCP نشطة)
400	معلمات مطلوبة مفقودة

DELETE /v1/walled_garden/:seid

إلغاء تفعيل إعادة توجيه الحديقة المحصورة لجلسة، واستعادة التوجيه العادي. يتم إعادة تعيين جميع FARs المقترنة في طوبولوجيا حلقة SGW لجلسة FARs بما في ذلك) في الاتجاه الصاعد للجلسة N9) مرة أخرى إلى `action=FORW` في خريطة eBPF، ويتم إلغاء تسجيل TEIDs من فهرس إعادة التوجيه.

معلمة المسار: `:seid` - SEID المحلي للجلسة التي يجب إلغاء تفعيلها.

الاستجابة (200 OK):

```
{"status": "redirect removed", "info": {"seid": 1}}
```

استجابات الخطأ:

الحالة	المعنى
404	لم يتم العثور على الجلسة

GET /v1/walled_garden/whitelist

يعيد القائمة البيضاء الحالية: عناوين IP الفردية المخزنة (IP البوابة وعناوين IP المحلولة بواسطة DNS) وأي نطاقات CIDR تمت إضافتها عبر API.

الاستجابة:

```
{
  "ips": [
    {"ip": "10.179.2.1", "type": "portal"},
    {"ip": "203.0.113.7", "type": "resolved"}
  ],
  "cidrs": ["192.168.100.0/24"]
}
```

POST /v1/walled_garden/whitelist

إضافة عنوان IP أو نطاق CIDR إلى القائمة البيضاء في وقت التشغيل، دون إعادة تشغيل UPF. التغييرات تكون في الذاكرة فقط ولا تستمر عبر إعادة التشغيل - أضف إدخالات دائمة إلى `walled_garden_whitelist` في `runtime.exs`.

جسم الطلب (إضافة IP):

```
{"ip": "203.0.113.10"}
```

جسم الطلب (إضافة نطاق CIDR):

```
{"cidr": "192.168.100.0/24"}
```

يجب أن يكون بالضبط واحد من `ip` أو `cidr`. يعني إضافة نطاق CIDR موجودًا أن أي حركة مرور ضمن ذلك النطاق يتم توجيهها بواسطة الموزع دون الحاجة إلى إدخال ذاكرة تخزين مؤقت إلى IPs لكل IP.

الاستجابة (200 OK - تم إضافة IP):

```
{"status": "added", "ip": "203.0.113.10"}
```

الاستجابة (200 OK - تم إضافة CIDR):

```
{"status": "added", "cidr": "192.168.100.0/24"}
```

استجابات الخطأ:

الحالة	المعنى
400	غير صالح، أو حقول الجسم مفقودة CIDR ،غير صالح IP

مقاييس بروميثيوس

المقاييس

المقياس: `upf_walled_garden_active_redirects` **النوع**: Gauge **الوصف**: عدد الجلسات الموجودة حاليًا في حالة إعادة توجيه الحديقة المحصورة

استعلامات المثال:

```
# عدد إعادة التوجيه الحالي
upf_walled_garden_active_redirects
```

العدادات

المقياس: `upf_walled_garden_packets_intercepted_total` **النوع**: Counter **الوصف**: إجمالي الحزم المعترضة بواسطة الحديقة المحصورة (كل حركة المرور في الاتجاه الصاعد من الجلسات المعاد توجيهها)

المقياس: `upf_walled_garden_packets_dropped_total` **النوع**: Counter **الوصف**: إجمالي الحزم التي تم إسقاطها بواسطة الحديقة المحصورة (حركة غير مدرجة في القائمة البيضاء، حركة غير DNS)

المقياس: `upf_walled_garden_packets_forwarded_total` **النوع**: Counter **الملصقات**:

- `dst_ip` - عنوان IP الوجهة للحزمة المعاد توجيهها **الوصف**: الحزم الموجهة عبر الحديقة المحصورة إلى الوجهات المدرجة في القائمة البيضاء. ملصقة بواسطة عنوان IP الوجهة للرؤية لكل وجهة.

المقياس: `upf_walled_garden_bytes_forwarded_total` **النوع**: Counter **الملصقات**:

- `dst_ip` - **الوصف**: بايتات موجهة عبر الحديقة IP عنوان للحركة المعاد توجيهها وجهة. استخدم هذا لتحديد الخدمات المدرجة في القائمة IP المحصورة لكل عنوان البيضاء التي يصل إليها المشتركون أثناء إعادة التوجيه.

المقياس: `upf_walled_garden_dns_spoofed_total` **النوع**: Counter **الملصقات**:

- `domain` - **الوصف**: استعلامات DNS المزورة بواسطة النطاق الذي تم تزويره الحديقة المحصورة. ملصقة بواسطة النطاق المستعلم.

المقياس: `upf_walled_garden_dns_forwarded_total` **النوع**: Counter **الملصقات**:

- `domain` - **الوصف**: استعلامات النطاق المدرج في القائمة البيضاء الذي تم توجيهه DNS الموجهة إلى المحلل الحقيقي (النطاقات المدرجة في القائمة البيضاء). ملصقة بواسطة النطاق.

استعلامات المثال

```
# جلسات الحديقة المحصورة النشطة
upf_walled_garden_active_redirects

# (حزم / ثانية) معدل الاعتراض
rate(upf_walled_garden_packets_intercepted_total[5m])

# (يجب أن يكون غالبية المعترضين) معدل الإسقاط
rate(upf_walled_garden_packets_dropped_total[5m])

# (بايت / ثانية) حركة المرور المعاد توجيهها لكل وجهة
sum by (dst_ip)
(rate(upf_walled_garden_bytes_forwarded_total[5m]))

# أعلى 5 وجهات مدرجة في القائمة البيضاء حسب حجم الحركة
topk(5, sum by (dst_ip)
(rate(upf_walled_garden_bytes_forwarded_total[5m])))

# أكثر النطاقات المزورة استعلامًا
topk(10, sum by (domain)
(rate(upf_walled_garden_dns_spoofed_total[5m])))

# معدل البحث عن النطاق المدرج في القائمة البيضاء
sum by (domain) (rate(upf_walled_garden_dns_forwarded_total[5m]))

# نسبة الحزم المفقودة مقابل المعاد توجيهها
sum(rate(upf_walled_garden_packets_dropped_total[5m]))
  / sum(rate(upf_walled_garden_packets_intercepted_total[5m]))
```

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

عدم ظهور بوابة المحتجزة على الجهاز

لكن الجهاز لا يظهر مطالبة البوابة (مرئي في API) **الأعراض**: يتم إعادة توجيه المشترك المحتجزة.

الأسباب المحتملة:

- البوابة المكون IP خادم البوابة لا يستجيب على
- خادم البوابة لا يتعامل مع عناوين الكشف الخاصة بالمنصة
- لم تصل استجابة DNS إلى UE (تحقق من مسار GTP-U)

الحل:

1. تحقق من أن خادم البوابة يمكن الوصول إليه: `curl http://<portal_ip>/`
2. تأكد من أن البوابة تتعامل مع عناوين الكشف (على سبيل المثال، `GET /hotspot-detect.html` لـ Apple)
3. تحقق من `GET /v1/walled_garden` للتأكد من تسجيل الجلسة
4. تحقق من مقاييس بروميثيوس: يجب أن يتزايد `upf_walled_garden_dns_spoofed_total`
5. تحقق من أن مسار GTP-U يعمل (في الاتجاه النازل يجب أن تبقى FAR في الاتجاه النازل FORW)

عدم تحميل صفحة الدفع

الأعراض: يرى المشترك بوابة محتجزة لكن لا يمكنه الوصول إلى صفحة الدفع (Stripe، إلخ).

الأسباب المحتملة:

- نطاق معالج الدفع غير موجود في القائمة البيضاء
- لم يتم تخزينه IP CDN يستخدم معالج الدفع
- نمط القائمة البيضاء لا يتطابق بشكل صحيح مع النطاقات الفرعية

الحل:

1. تحقق من `GET /v1/walled_garden` - تحقق من أن `whitelisted_ips` تشمل IPs معالج الدفع
2. تحقق من بروميثيوس: يجب أن يظهر `upf_walled_garden_dns_forwarded_total{domain="stripe.com"}` عمليات البحث
3. أضف النطاقات المفقودة إلى القائمة البيضاء (شائع: `js.stripe.com`، `m.stripe.network`)
4. تحقق من `upf_walled_garden_bytes_forwarded_total` حسب `dst_ip` لرؤية ما هي الحركة التي تتدفق فعليًا

عدم تفعيل إعادة التوجيه

الأعراض: يرسل SMF تعديل الجلسة مع `redirect_information` لكن حركة مرور المشترك لا يتم اعتراضها.

الأسباب المحتملة:

- `walled_garden_enabled` هو `false`
- IE `redirect_information` في FAR غير صحيح (يجب أن تكون في FAR **في الاتجاه الصاعد**)
- لم يتم تجاوز إجراء FAR إلى BUFF

الحل:

1. تحقق من التكوين: `walled_garden_enabled = true`
2. تحقق من `GET /v1/pfcp_sessions` - انظر إلى إجراء FAR للجلسة. يجب أن تظهر `0x04` (BUFF) في الاتجاه الصاعد إجراء FAR `0`
3. تحقق من `GET /v1/walled_garden` - يجب أن يظهر TEID للجلسة في قائمة إعادة التوجيه
4. تحقق من سجلات UPF لرسائل `redirect_info` خلال تعديل الجلسة

عدم إلغاء إعادة التوجيه بعد إعادة الشحن

الأعراض: قام المشترك بإعادة الشحن لكن لا تزال الحركة معترضة.

الأسباب المحتملة:

- لم يرسل SMF تعديل الجلسة لإزالة إعادة التوجيه
- لم يتم اكتشاف الانتقال من BUFF إلى FORW

الحل:

1. تحقق من `GET /v1/walled_garden` - هل لا تزال الجلسة مدرجة؟
2. تحقق من `GET /v1/pfcp_sessions` - تحقق من أن إجراء FAR قد تم تحديثه مرة أخرى إلى `0x02` (FORW)
3. تحقق من سجلات SMF للتأكد من أنه أرسل تعديل الجلسة
4. تحقق من سجلات UPF لرسالة "تمت إزالة إعادة التوجيه، إلغاء تسجيل الحديقة المحصورة"

في الاتجاه النازل خاطئ (عالق بعد تعديل TEID الجلسة)

الأعراض: ردود DNS إلى UE المزورة أو الحركة المعاد توجيهها لا تصل إلى GTP-U ؛ يتم إرسال حزم إلى عنوان IP الصحيح لـ gNB لكن eNB يسقطها كـ TEID غير معروف.

السبب: في طوبولوجيات 4G/SGW+PGW، قد يكون TEID eNB في FAR DL لـ SGW صفرًا أو على سبيل المثال، يحدث) مكان مؤقت في وقت تفعيل إعادة توجيه الحديقة المحصورة TEID الخاص بتخصيص eNB عندما يقوم `Initial Context Setup` تبادل (بعد إنشاء الجلسة. لكن إذا كان - SGW في جلسة FAR DL به ويرسله مرة أخرى عبر تعديل الجلسة، يتم تحديث TEID الخاطئ الموزع قد خزّن القيمة القديمة، فسيستخدم.

الحل: يقوم الموزع بحل **في الوقت الحقيقي** في وقت الرد من خلال البحث عن TEID DL الحالي لجلسة FAR DL SGW (FAR مع `outer_header_creation` مضبوط و `remoteip != n3_address`). إنه يتراجع فقط إلى القيمة المخزنة في وقت التفعيل إذا فشل البحث عن العالق بمجرد إرسال الرد التالي المزور أو المعاد توجيهه. لذلك، يجب أن يتم تصحيح الجلسة. TEID إذا كنت لا تزال ترى TEID خاطئًا:

1. تحقق من `GET /v1/walled_garden` - تحقق من أن `dl_teid` في إدخال إعادة التوجيه يبدو معقولًا (غير صفر).
2. تحقق من `GET /v1/pfcp_sessions` - انظر إلى إدخالات FAR لجلسة SGW؛ يجب أن تحتوي FAR المواجهة لـ gNB على `teid` و `remoteip` الحاليين.
3. إذا تم حذف جلسة SGW (على سبيل المثال، تسليم أو تحرير)، ستظل إدخال إعادة التوجيه في RedirectIndex لكن البحث المباشر سيفشل. في هذه الحالة، استخدم `DELETE /v1/walled_garden/:seid` لتنظيف الإدخال العالق ودع SMF يعيد إنشاءه.

تعيد البوابة 304 غير معدلة

الأعراض: يظهر متصفح المشترك صفحة فارغة أو يتم تحميل صفحة البوابة المحتجزة مرة واحدة لكن الزيارات اللاحقة تظهر فارغة.

السبب: يتم إرسال استجابات HTTP 304 (غير معدلة) عندما يكون لدى المتصفح إصدار مخزن من الصفحة ويؤكد الخادم أن لا شيء قد تغير. بالنسبة لتدفقات البوابة المحتجزة، ترسل بعض خوادم الويب للبوابة 304 استجابة لطلبات الكشف الخاصة بالمنصة (`/hotspot-detect.html`، `/generate_204`، إلخ) إذا أرسل المتصفح رؤوس `If-Modified-Since` أو `If-None-Match`. ترسل بعض تطبيقات البوابة المحتجزة أيضًا 304 لصفحة إعادة التوجيه نفسها.

الحل:

1. يقوم UPF بتوجيه استجابات HTTP بتعديل بشكل شفاف - لا يقوم خادم البوابة من رموز الاستجابة. المشكلة تكمن في تكوين خادم الويب للبوابة.
2. على خادم البوابة، تأكد من أن نقاط نهاية الكشف عن المنصة تعيد رمز الحالة الصحيح (200، وليس 304) مع محتوى الجسم المتوقع (انظر كشف البوابة المحتجزة).
3. قم بتكوين خادم البوابة لإرسال `Cache-Control: no-store` وتجنب رؤوس `ETag` / `Last-Modified` على نقاط نهاية الكشف حتى لا يقوم المتصفحات بتخزينها.
4. تحقق باستخدام: `curl -v -H "If-None-Match: foo" http://<portal_ip>/hotspot-detect.html` - يجب أن تكون الاستجابة 200، وليس 304.

تظهر البوابة الصفحة الخاطئة (vHost قائم على الاسم)

الأعراض: يتم إعادة توجيه المشترك بشكل صحيح (مرئي في `GET /v1/walled_garden`) وتظهر مطالبة البوابة المحتجزة، لكن النقر عليها يفتح **الموقع الخاطئ** -- تطبيق مختلف، CRM، أو صفحة افتراضية عامة -- بدلاً من صفحة إعادة الشحن / التسجيل. يؤكد أن صفحة البوابة تُحمّل `curl` معين: فقط مع رأس `Host:`

```
curl -s -H 'Host: portal.example'
http://<portal_ip>/   # -> (صحيح)  صفحة المحتجز / التسجيل
curl -s -H 'Host: connectivitycheck.gstatic.com'
http://<portal_ip>/   # -> vhost (خاطئ) الافتراضي
curl -s -H 'Host: <portal_ip>'
http://<portal_ip>/   # -> vhost (خاطئ) الافتراضي
```

السبب: IP البوابة هو **vHost افتراضي قائم على الاسم** مشترك مع مواقع أخرى. تقوم UE بـ HTTP البوابة وتوجه طلب IP الحديق المحصورة بتزوير كل فحص للبوابة المحتجزة إلى **الأصلي للفحص** `Host` **كما هو، مع الحفاظ على رأس** (على سبيل المثال، `Host: connectivitycheck.gstatic.com`). يتطابق مع ذلك vhost ليس لدى خادم الويب للبوابة **الافتراضي** الخاص به -- الصفحة الخاطئة. لا يقوم **vhost** بإعادة كتابة UPF لذلك يقدم، `Host` رأس `Host` أو إجراء اختيار vhost انظر متطلبات خادم البوابة. نيابة عن البوابة.

الحل:

1. يتم `Host:` **مخصص خاص بها** بحيث تعيد أي **IP** أعطِ البوابة المحتجزة **عنوان** صفحة البوابة، **أو** IP تقديمه بواسطة ذلك
2. اجعل البوابة **vHost** **افتراضي** على المضيف المشترك، بحيث تسقط قيم `Host:` غير المتطابقة إلى صفحة البوابة.
3. افتراضي، يجب أن تعيد vhost مخصص أو IP أعلاه: مع `curl` تحقق باستخدام الأوامر **كل من الثلاثة** الطلبات صفحة البوابة.

توجيه المقبس الخام

مدرج في القائمة البيضاء، فإنه يستخدم **مقبس خام** IP عندما يقو�� الموزع بتوجيه حزمة إلى (`IPPROTO_RAW`، 255 عبر وحدة (رقم البروتوكول `:socket` في Erlang. يتم فتح مقبس خام باستخدام (eBPF كما تم استلامها من) جديد لكل حزمة، ويتم إرسال الحزمة الكاملة الداخلية `sendto`، ويتم إغلاق المقبس على الفور.

كيف يعمل هذا: تحتوي الحزمة الداخلية من حمولة GTP-U صالح مع عنوان IP بالفعل على رأس كمصدر وعنوان خادم الوجهة كوجهة. من خلال حقن هذه الحزمة عبر مقبس خام UE لـ IP `IPPROTO_RAW`، يقوم النواة بتوجيهها بناءً على عنوان الوجهة باستخدام جدول توجيه على مسار إلى خادم البوابة / المدرج في UPF الخاصة بـ N6 المضيف. يجب أن تحتوي واجهة القائمة البيضاء لكي يعمل هذا.

المشكلات الشائعة:

الأعراض	السبب المحتمل	الحل
فشل التوجيه بصمت	`EPERM` - يتطلب المقبس الخام الجذر أو `CAP_NET_RAW`	عمل كجذر أو لديه OmniUPF تأكد من أن القدرة `CAP_NET_RAW`
تم توجيه الحزم لكن لا تصل أي استجابة إلى UE	المسار إلى البوابة N6 مفقود	أضف مسارًا إلى شبكة البوابة على مضيف UPF
`فشل فتح المقبس الخام` في السجلات	القدرة المفقودة أو قيود النواة	تحقق من خدمة `systemd` `AmbientCapabilities=CAP_NET_RAW`
يعمل التوجيه لكن يحصل UE على IP خاطئ كمصدر	NAT على N6 يعيد كتابة المصدر	تأكد من أن ردود البوابة إلى IP UE يتم توجيهها مرة أخرى عبر UPF

للحصول على رسائل `فشل توجيه الحديقة المحصورة` و `فشل فتح المقبس الخام`. استخدم مقاييس بروميثيوس UPF تحقق من سجلات `upf_walled_garden_packets_forwarded_total` و `upf_walled_garden_bytes_forwarded_total` لتأكيد تدفق الحركة.

تحذير الكاردينالية العالية لبروميثيوس

ملاحظة: يمكن أن تؤدي الملصقات `domain` و `dst_ip` على مقاييس الحديقة المحصورة إلى إنتاج كاردينالية عالية إذا تم استعلام العديد من الوجهات أو النطاق ت الفريدة. في النشر الكبير، ضع في اعتبارك استخدام قواعد التسجيل لتجميع هذه المقاييس:

```
# قاعدة تسجيل لتجميع بواسطة شبكة /24 بدلاً من IP فردي
sum by (dst_subnet) (
  label_replace(
    rate(upf_walled_garden_bytes_forwarded_total[5m]),
    "dst_subnet", "$1.0/24", "dst_ip", "(\d+\.\d+\.\d+)\.\d+"
  )
)
```

دليل عمليات واجهة المستخدم على الويب

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. الوصول إلى لوحة التحكم
3. عرض الجلسات
4. إدارة القواعد
5. إدارة المخازن
6. لوحة إحصائيات
7. مراقبة السعة
8. عرض التكوين
9. عرض المسارات
10. عرض قدرات XDP
11. عارض السجلات

نظرة عامة

توفر واجهة المستخدم على الويب الخاصة بـ OmniUPF لوحة تحكم شاملة للمراقبة والإدارة في الوقت الحقيقي لوظيفة مستوى المستخدم. تم بناء الواجهة على Phoenix LiveView وتوفر:

- **رؤية في الوقت الحقيقي** لجلسات PFCP و اتصالات PDU النشطة
- **فحص القواعد** لـ PDR و FAR و QER و URR عبر جميع الجلسات
- **إدارة المخازن** لتخزين الحزم أثناء أحداث التنقل
- **مراقبة الإحصائيات** لمعالجة الحزم والمسارات والواجهات
- **تتبع السعة** لاستخدام خرائط eBPF والحدود
- **عرض السجلات الحية** لاستكشاف الأخطاء وإصلاحها

الهيكلية

تتواصل لوحة التحكم مع عدة مثيلات من OmniUPF عبر واجهة برمجة التطبيقات REST الخاصة بها لـ:

- استعلام جلسات PFCP والارتباطات
- فحص قواعد اكتشاف الحزم وإعادة التوجيه
- مراقبة مخازن الحزم وحالتها
- الوصول إلى الإحصائيات في الوقت الحقيقي ومقاييس الأداء
- تتبع سعة خرائط eBPF واستخدامها

الوصول إلى لوحة التحكم

الوصول الافتراضي

تكون لوحة التحكم متاحة عبر HTTPS على خادم إدارة OmniUPF:

```
https://<upf-server>:443/
```

المنفذ الافتراضي: 443 (HTTPS مع شهادة موقعة ذاتيًا)

التكوين

تتطلب لوحة التحكم تكوين مضيف OmniUPF في `config/config.exs`:

يمكن تكوين عدة مثيلات من UPF لنشر متعدد المثيلات:

يحدد تكوين `upf_hosts` أي مثيلات من OmniUPF متاحة في قائمة تحديد المضيف في جميع أنحاء واجهة المستخدم.

التنقل

توفر لوحة التحكم علامات تبويب للتنقل لكل منطقة تشغيلية:

- **الجلسات** - `/sessions` - جلسات PFCP والارتباطات
- **القواعد** - `/rules` - فحص قواعد URR و QER و FAR و PDR

- **المخازن** - `/buffers` - مراقبة الحزم والتحكم
- **الإحصائيات** - `/statistics` - إحصائيات الحزم والمسارات و XDP والواجهات
- **السعة** - `/capacity` - استخدام خرائط eBPF ومراقبة السعة
- **التكوين** - `/upf_config` - تكوين UPF وعناوين مستوى البيانات
- **المسارات** - `/routes` - مسارات UE وجلسات بروتوكول التوجيه (BGP و OSPF)
- **قدرات XDP** - `/xdp_capabilities` - دعم وضع XDP وقدرات الأداء
- **السجلات** - `/logs` - بث السجلات الحية

عرض الجلسات

الرابط: `/sessions`

الميزات

يعرض عرض الجلسات جميع جلسات PFCP النشطة والارتباطات من مثيلات OmniUPF المحددة.

ملخص ارتباطات PFCP

يعرض جميع ارتباطات PFCP النشطة (من اتصالات التحكم SMF/PGW-C):

العمود	الوصف
معرف العقدة	معرف عقدة SMF أو PGW-C (IP أو FQDN)
العنوان	عنوان IP لـ SMF/PGW-C للتواصل عبر PFCP
معرف الجلسة التالية	معرف جلسة PFCP المتاحة التالية لهذا الارتباط

الغرض:

- التحقق من اتصال SMF بـ UPF
- مراقبة عدد اتصالات مستوى التحكم
- تتبع تخصيص معرف الجلسة لكل ارتباط

جدول الجلسات النشطة

يعرض جميع جلسات PFCP التي تمثل جلسات PDU النشطة لـ UE:

العمود	الوصف
SEID المحلي	معرف نقطة نهاية الجلسة المعينة من UPF
SEID البعيد	معرف نقطة نهاية الجلسة المعينة من SMF
عنوان UE	عنوان IPv4 أو IPv6 لمعدات المستخدم
TEID	معرف نقطة نهاية نفق GTP-U لحركة المرور الصاعدة
PDRs	عدد قواعد اكتشاف الحزم في الجلسة
FARs	عدد قواعد إجراء إعادة التوجيه في الجلسة
QERs	عدد قواعد تنفيذ QoS في الجلسة
URRs	عدد قواعد تقارير الاستخدام في الجلسة
الإجراءات	زر التوسيع لعرض معلومات القاعدة التفصيلية

الميزات:

- **تصفية بواسطة IP**: العثور على الجلسات لعنوان IP محدد لـ UE
- **تصفية بواسطة TEID**: العثور على الجلسات بواسطة معرف نقطة النهاية للنفق
- **توسيع الجلسة**: عرض تفاصيل JSON الكامل بتنسيق PDR/FAR/QER
- **تحديث تلقائي**: يتم التحديث كل 10 ثوانٍ

عرض الجلسة الموسعة:

عند النقر على "توسيع" في جلسة، يظهر العرض:

- **قواعد اكتشاف الحزم (PDRs)**: JSON كامل مع TEID، عنوان UE، معرف FAR، معرف SDF، مرشحات QER
  - **قابلة للنقر** **معرفات PDR** - انقر للتنقل إلى علامة التبويب القواعد الكاملة وعرض تفاصيل PDR
  - ترتبط PDRs الصاعدة (TEID ≠ 0) بالبحث عن PDR الصاعدة

    - ترتبط PDRs النازلة (IPv4) بالبحث عن PDR النازلة
    - ترتبط PDRs النازلة (IPv6) بالبحث عن PDR النازلة IPv6
- **قواعد إجراء إعادة التوجيه (FARs)**: أعلام الإجراءات، إنشاء رأس خارجي، نقاط النهاية الوجهة
- **قواعد تنفيذ QoS (QERs)**: QFI ومعلمات QoS الأخرى و GBR و MBR
- **قواعد تقارير الاستخدام (URRs)**: عدادات الحجم (الصاعدة والنازلة وإجمالي البايتات)

عرض الجلسة الموسعة يظهر تفاصيل PDRs و FARs و QERs لجلسة معينة.

حالات الاستخدام

تحقق من اتصال UE:

1. انتقل إلى عرض الجلسات
2. أدخل عنوان IP لـ UE في الفلتر
3. تأكد من وجود الجلسة مع TEID الصحيح
4. قم بالتوسيع للتحقق من تكوين PDR/FAR

مراقبة عدد الجلسات:

- تحقق من إجمالي عدد الجلسات في الرأس
- قارن عبر عدة مثيلات UPF
- تتبع نمو الجلسة بمرور الوقت

استكشاف مشكلات الجلسة:

- ابحث عن عنوان IP أو TEID لـ UE محدد
- قم بتوسيع الجلسة لفحص تكوين القاعدة
- تحقق من معلمات إعادة توجيه FAR
- تحقق من إعدادات QoS لـ QER

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض الجلسات بتحديث تلقائي كل 10 ثوانٍ. يظهر مؤشر صحة حالة اتصال UPF:

- **صحي** (أخضر): UPF قابل للوصول ويستجيب
- **غير صحي** (أحمر): UPF غير قابل للوصول أو لا يستجيب
- **غير معروف** (رمادي): حالة الصحة لم تحدد بعد

إدارة القواعد

الرابط: `/rules`

يوفر عرض القواعد فحصًا شاملاً لجميع قواعد اكتشاف الحزم وإعادة التوجيه و QoS وتقارير الاستخدام عبر جميع الجلسات.

قواعد اكتشاف الحزم - PDR علامة تبويب

عرض وفحص جميع PDRs في UPF مع **نماذج البحث** و **التنقل القابل للنقر**:

PDRs الصاعدة (N3 → N6):

- **نموذج البحث**: البحث بواسطة TEID لعرض تفاصيل PDR الصاعدة المحددة
- **TEID**: معرف نقطة نهاية نفق GTP-U من gNB (قابل للنقر - ينتقل إلى البحث)

- **معرف FAR**: قاعدة إجراء إعادة التوجيه المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب FAR)
- **معرف QER**: قاعدة تنفي QoS المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب QER)
- **معرفات URR**: قواعد تقارير الاستخدام المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب URR)
- **إزالة الرأس الخارجي** GTP-U: علامة إزالة التفكيك
- **مرشحات SDF**: قواعد تصنيف تدفق البيانات الخدمية

PDRs النازلة (N6 → N3):

- **نموذج البحث**: البحث بواسطة عنوان IPv4 لـ UE لعرض تفاصيل PDR النازلة المحددة
- **عنوان UE**: عنوان IPv4 لمعدات المستخدم (معروض في نتائج البحث)
- **معرف FAR**: قاعدة إجراء إعادة التوجيه المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب FAR)
- **معرف QER**: قاعدة تنفيذ QoS المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب QER)
- **معرفات URR**: قواعد تقارير الاستخدام المرتبطة (قابلة للنقر - تنتقل إلى علامة تبويب URR)
- **وضع SDF**: وضع مرشح تدفق البيانات الخدمية (افتراضي + sdf، فقط sdf، لا شيء)
- **التصفح**: تصفح PDRs النازلة (افت��اضي 100 لكل صفحة، الحد الأقصى 1000) مع عناصر التحكم في الصفحات

PDRs النازلة IPv6:

- تدعم واجهة برمجة التطبيقات التصفح لـ PDRs النازلة IPv6
- نفس الهيكل مثل IPv4 ولكن مفاتيح بواسطة عناوين IPv6
- يمكن إضافة علامة تبويب واجهة المستخدم الكاملة إذا لزم الأمر

قواعد إجراء إعادة التوجيه - FAR علامة تبويب

عرض جميع FARs مع إجراءاتها ومعلماتها:

الميزات:

- **نموذج البحث**: البحث بواسطة معرف FAR لعرض تفاصيل FAR المحددة
- **البحث التلقائي**: النقر على معرفات FAR من تفاصيل PDR يملأ البحث تلقائيًا

- حالة التخزين الحالية FAR **التحديثات في الوقت الحقيقي**: تعكس حالة

العمود	الوصف
معرف FAR	معرف قاعدة إعادة التوجيه الفريد
الإجراء	أعلام إجراءات إعادة التوجيه (FORWARD و DROP و BUFFER و NOTIFY و DUPLICATE)
التخزين	حالة التخزين الحالية (مفعل/معطل)
الوجهة	معلمات إنشاء الرأس الخارجي (TEID، عنوان IP)

أعلام إجراء FAR:

- **FORWARD (1)**: إعادة توجيه الحزمة إلى الوجهة
- **DROP (2)**: تجاهل الحزمة
- **BUFFER (4)**: تخزين الحزمة في المخزن
- **NOTIFY (8)**: إرسال إشعار إلى مستوى التحكم
- **DUPLICATE (16)**: تكرار الحزمة إلى وجهات متعددة

تبديل التخزين:

- انقر على "تمكين التخزين" أو "تعطيل التخزين" لتبديل علامة التخزين
- مفيد لاستكشاف مشكلات الانتقال
- تغييرات إجراء FAR على الفور في خريطة eBPF

قواعد تنفيذ QoS - علامة تبويب QER

عرض قواعد QoS المطبقة على تدفقات الحركة:

الميزات:

- **التنقل القابل للنقر**: انقر على معرفات QER من تفاصيل PDR للتنقل وتسليط الضوء على QER محدد
- **التسليط التلقائي**: يتم تسليط الضوء على صف QER عند التنقل من PDR

- مع عناصر التحكم في الصفحات (افتراضي 100 لكل صفحة، QERs **التصفح**: تصفح الحد الأقصى 1000)

العمود	الوصف
معرف QER	معرف قاعدة QoS الفريد (PDRs قابل للنقر عند الإشارة إليه من)
MBR (الصاعدة)	الحد الأقصى لمعدل البت لحركة المرور الصاعدة (kbps)
MBR (النازلة)	الحد الأقصى لمعدل البت لحركة المرور النازلة (kbps)
GBR (الصاعدة)	معدل البت المضمون لحركة المرور الصاعدة (kbps)
GBR (النازلة)	معدل البت المضمون لحركة المرور النازلة (kbps)
QFI	معرف تدفق QoS (علامة 5G)

تفسير QoS:

- **MBR = 0**: لا يوجد حد للمعدل
- **GBR = 0**: أفضل جهد (لا يوجد عرض نطاق مضمون)
- **GBR > 0**: تدفق بمعدل بت مضمون (مفضل)

قواعد تقارير الاستخدام - URR علامة تبويب

عرض قواعد تتبع الاستخدام وعدد الحجم:

الميزات:

- محدد وتسليط الضوء URR للعثور على URR **نموذج البحث**: البحث بواسطة معرف عليه
- للتنقل وتسليط PDR من تفاصيل URR **التنقل القابل للنقر**: انقر على معرفات محدد URR الضوء على
- باللون الأزرق عند التنقل من URR **التسليط التلقائي**: يتم تسليط الضوء على صف أو البحث عبر البحث PDR
- مع عناصر التحكم في الصفحات (افتراضي 100 لكل صفحة، URRs **التصفح**: تصفح الحد الأقصى 1000)

العمود	الوصف
معرف URR	قابل للنقر عند الإشارة إليه من) معرف قاعدة تقارير الاستخدام الفريد PDRs)
حجم الصاعدة	إلى الشبكة البيانات UE بايتات أرسلت من
حجم النازلة	UE بايتات أرسلت من الشبكة البيانات إلى
إجمالي الحجم	إجمالي البايتات في كلا الاتجاهين
الإجراءات	URR زر الحذف لإعادة تعيين العدادات لهذه

عرض الحجم:

- يتم تنسيقه تلقائيًا (B و KB و MB و GB و TB)
- يتم تحديث العدادات في الوقت الحقيقي مع كل تحديث
- يستخدم للفوترة والتحليلات

التصفية:

- يظهر فقط URRs ذات الحجم غير الصفري
- يتم تصفية URRs غير النشطة (جميع العدادات عند 0) لأغراض الأداء

حالات الاستخدام

فحص تصنيف الحركة:

1. انتقل إلى القواعد ← علامة تبويب PDR
2. ابحث عن TEID أو عنوان IP لـ UE محدد
3. تحقق من أن PDR يرتبط بـ FAR و QER الصحيحين

استكشاف مشكلات إعادة التوجيه:

1. انتقل إلى القواعد ← علامة تبويب FAR
2. حدد معرف FAR من PDR للجلسة

3. تحقق من أن الإجراء هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER)
4. تحقق من معلمات إنشاء الرأس الخارجي

مراقبة تنفيذ QoS:

1. انتقل إلى القواعد → علامة تبويب QER
2. تحقق من أن قيم MBR و GBR تتطابق مع السياسة
3. تحقق من علامة QFI 5G لتدفقات

تتبع استخدام البيانات:

1. انتقل إلى القواعد → علامة تبويب URR
2. قم بفرز حسب الحجم الإجمالي للعثور على أعلى المستخدمين
3. راقب نمو الحجم بمرور الوقت
4. تحقق من تكامل الفوترة

إدارة المخازن

الرابط: `/buffers`

الميزات

يعرض عرض المخازن مخازن الحزم التي تحتفظ بها UPF أثناء أحداث التنقل أو تبديل المسارات.

الإحصائيات الإجمالية

تعرض لوحة المعلومات إحصائيات المخازن المجمع:

- **إجمالي الحزم** FARs: عدد الحزم المخزنة عبر جميع
- **إجمالي البايتات**: إجمالي حجم البيانات المخزنة
- **إجمالي FARs**: عدد FARs التي تحتوي على حزم مخزنة
- **الحد الأقصى لكل FAR**: الحد الأقصى للحزم المسموح بها لكل FAR
- **الحد الأقصى الإجمالي**: الحد الأقصى للحزم المخزنة
- **الحزمة TTL** (بالثواني): الوقت حتى انتهاء صلاحية الحزم المخزنة

المخازن حسب FAR

جدول لجميع FARs مع الحزم المخزنة:

العمود	الوصف
معرف FAR	معرف قاعدة إجراء إعادة التوجيه
عدد الحزم	عدد الحزم المخزنة لهذا FAR
عدد البايتات	إجمالي البايتات المخزنة لهذا FAR
أقدم حزمة	الطابع الزمني لأقدم حزمة مخزنة
أحدث حزمة	الطابع الزمني لأحدث حزمة مخزنة
الإجراءات	أزرار التحكم في المخزن (على شكل حبوب)

إجراءات التحكم في المخازن

لكل FAR مع حزم مخزنة، تتوفر الأزرار التالية على شكل حبوب:

تحكم التخزين:

- يحدث علامة إجراء (FAR) **تعطيل التخزين** (أحمر): إيقاف التخزين لهذا FAR
- **تمكين التخزين** (أرجواني): تشغيل التخزين لهذا FAR

عمليات المخازن:

- **تفريغ** (أزرق): إعادة تشغيل جميع الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR الحالية
- **مسح** (رمادي): حذف جميع الحزم المخزنة دون إعادة توجيه

مسح جميع المخازن:

- زر "مسح جميع" الأحمر في الرأس
- يمسح المخازن لجميع FARs
- يتطلب تأكيد

حالات الاستخدام

مراقبة تخزين الانتقال:

1. أثناء الانتقال، تحقق من أن الحزم يتم تخزينها
2. تحقق من حالة تخزين FAR (يجب أن تكون مفعلّة)
3. راقب عدد الحزم وعمرها

إكمال الانتقال:

1. بعد تبديل المسار، انقر على "تفريغ" لإعادة تشغيل الحزم المخزنة
2. تحقق من أن الحزم قد تم إعادة توجيهها إلى المسار الجديد
3. انقر على "تعطيل التخزين" لإيقاف التخزين

مسح المخازن العالقة:

1. حدد FARs (تحقق من أقدم طابع زمني) مع حزم مخزنة قديمة
2. انقر على "مسح" للتخلص من الحزم القديمة
3. أو انقر على "تعطيل التخزين" لمنع المزيد من التخزين

استكشاف مشكلات تجاوز السعة:

1. تحقق من إجمالي عدد الحزم مقابل الحد الأقصى الإجمالي
2. حدد FARs مع تخزين مفرط
3. تحقق من أن SMF قد أرسل تعديل الجلسة لتعطيل التخزين
4. قم بتعطيل التخزين يدويًا إذا تم تفويت أمر SMF

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض المخازن بتحديث تلقائي كل 5 ثوانٍ لعرض حالة المخزن الحالية.

لوحة إحصائيات

الرابط: `/statistics`

الميزات

يوفر عرض الإحصائيات مقاييس الأداء في الوقت الحقيقي من مسار بيانات OmniUPF. لمزيد من المعلومات التفصيلية حول مقاييس Prometheus، راجع **مرجع المقاييس**.

إحصائيات الحزم

عدادات معالجة الحزم المجمعة:

- **حزم RX**: إجمالي الحزم المستلمة على ج��يع الواجهات
- **حزم TX**: إجمالي الحزم المرسلة على جميع الواجهات
- **حزم تم إسقاطها**: الحزم التي تم تجاهلها بسبب الأخطاء أو السياسة
- **حزم GTP-U**: الحزم المعالجة مع تغليف GTP-U

ومعدل إسقاط الحزم UPF **الاستخدام**: مراقبة الحمل العام لحركة مرور

إحصائيات المسارات

مقاييس إعادة التوجيه لكل مسار (إذا كانت متاحة):

- **ضربات المسار**: الحزم المطابقة لكل قاعدة توجيه
- **نجاح إعادة التوجيه**: عدد الحزم التي تم إعادة توجيهها بنجاح
- **أخطاء إعادة التوجيه**: محاولات إعادة التوجيه الفاشلة

الاستخدام: تحديد المسارات المزدحمة وأخطاء إعادة التوجيه

إحصائيات XDP

مقاييس أداء eXpress Data Path:

- **XDP المعالج**: إجمالي الحزم المعالجة في طبقة XDP
- **XDP المرسلة**: الحزم المرسلة إلى كومة الشبكة
- **XDP المرفوضة**: الحزم المرفوضة في طبقة XDP
- **XDP الملغاة**: أخطاء المعالجة في برنامج XDP

واكتشاف أخطاء المعالجة XDP **الاستخدام**: مراقبة أداء

أسباب إسقاط XDP:

- تنسيق حزمة غير صالح
- فشل البحث في خريطة eBPF
- إسقاطات قائمة على السياسة
- استنفاد الموارد

إحصائيات واجهة N3/N6

عدادات حركة المرور لكل واجهة:

واجهة N3 (اتصال RAN):

- **RX N3**: الحزم المستلمة من gNB/eNodeB
- **TX N3**: الحزم المرسلة إلى gNB/eNodeB

واجهة N6 (اتصال الشبكة البيانات):

- **RX N6**: الحزم المستلمة من الشبكة البيانات (الإنترنت/IMS)
- **TX N6**: الحزم المرسلة إلى الشبكة البيانات

الإجمالي: إجمالي عدد الحزم عبر الواجهات

الاستخدام: مراقبة توازن الحركة ومشكلات محددة بالواجهة

حالات الاستخدام

مراقبة حمل الحركة:

1. تحقق من معدلات RX/TX للحزم
2. تحقق من أن الحركة تتدفق في كلا الاتجاهين
3. قارن حركة N3 مقابل N6 (يجب أن تكون متساوية تقريبًا)

اكتشاف إسقاط الحزم:

1. تحقق من عداد الحزم المرفوضة
2. راجع عداد الحزم المرفوضة XDP
3. تحقق من السبب في السجلات إذا كانت الإسقاطات مرتفعة

تحليل الأداء:

1. راقب نسبة الحزم المعالجة إلى المرسلة XDP
2. تحقق من إسقاطات XDP (تشير إلى الأخطاء)
3. تحقق من توزيع حركة المرور على واجهات N3/N6

تخطيط السعة:

1. تتبع معدل الحزم بمرور الوقت
2. قارن مع حدود سعة UPF
3. خطط للتوسع إذا اقتربت من الحدود

التحديثات في الوقت الحقيقي

تقوم الإحصائيات بالتحديث تلقائيًا كل 5 ثوانٍ.

مراقبة السعة

الرابط: `/capacity`

الميزات

يعرض عرض السعة استخدام خريطة eBPF في مسار بيانات لجميع الخرائط وحدود السعة UPF.

جدول استخدام خريطة eBPF

جدول لجميع خرائط eBPF مع معلومات الاستخدام:

العمود	الوصف
اسم الخريطة	اسم خريطة eBPF (مثل `uplink_pdr_map`، `far_map`)
المستخدم	عدد الإدخالات الموجودة حاليًا في الخريطة
السعة	الحد الأقصى للإدخالات المسموح بها في الخريطة
الاستخدام	شريط تقدم مرئي مع النسبة المئوية
حجم المفتاح	حجم مفاتيح الخريطة بالبايتات
حجم القيمة	حجم قيم الخريطة بالبايتات

مؤشرات الاستخدام الملونة

يتم تلوين شريط تقدم الاستخدام بناءً على الاستخدام:

- **أخضر (<50%)**: تشغيل طبيعي، سعة كافية
- **أصفر (50-70%)**: تحذير، راقب النمو
- **كهرماني (70-90%)**: تحذير، خطط لزيادة السعة
- **أحمر (>90%)**: حرجة، يتطلب اتخاذ إجراء فوري

الخرائط الحرجة للمراقبة

uplink_pdr_map:

- يخزن PDRs الصاعدة المفاتيح بواسطة TEID
- إدخال واحد لكل تدفق حركة مرور صاعدة
- **حرجة**: الاستنفاد يمنع إنشاء جلسات جديدة

downlink_pdr_map / **downlink_pdr_map_ip6**:

- يخزن PDRs النازلة المفاتيح بواسطة عنوان IP لـ UE
- إدخال واحد لكل عنوان IPv4/IPv6 لـ UE
- **حرجة**: الاستنفاد يمنع إنشاء جلسات جديدة

far_map:

- يخزن قواعد إجر��ء إعادة التوجيه المفاتيح بواسطة معرف FAR
- مشتركة عبر عدة PDRs
- **أولوية عالية**: تؤثر على قرارات إعادة التوجيه

qer_map:

- يخزن قواعد تنفيذ QoS المفاتيح بواسطة معرف QER
- ولكن ليس على الاتصال الأساسي QoS **أولوية متوسطة**: تؤثر على

urr_map:

- يخزن قواعد تقارير الاستخدام المفاتيح بواسطة معرف URR
- **أولوية منخفضة**: تؤثر على الفوترة ولكن ليس على الاتصال

حالات الاستخدام

تخطيط السعة:

1. راقب اتجاهات استخدام الخريطة بمرور الوقت
2. حدد أي الخرائط تنمو بسرعة أكبر
3. خطط لزيادة السعة قبل الوصول إلى الحدود

منع فشل إنشاء الجلسات:

1. قبل زيادة حركة المرور المتوقعة PDR تحقق من استخدام خريطة
2. زيادة سعة الخريطة إذا اقتربت من الحدود
3. راقب بعد زيادة السعة للتحقق

استكشاف مشكلات الجلسات:

1. عندما يفشل إنشاء الجلسة، تحقق من عرض السعة
2. حمراء (>90%)، فإن السعة مستنفدة PDR إذا كانت خرائط
3. زيادة سعة الخريطة أو مسح الجلسات القديمة

تحسين تكوين الخريطة:

1. راجع أحجام المفاتيح والقيم

2. احسب استخدام الذاكرة لكل خريطة
3. تحسين أحجام الخرائط بناءً على أنماط الاستخدام الفعلية

تكوين السعة

يتم تكوين سعات خريطة eBPF عند بدء تشغيل UPF في ملف تكوين UPF. القيم النموذجية:

- نشر صغير: 10,000 - 100,000 إدخال لكل خريطة
- نشر متوسط: 100,000 - 1,000,000 إدخال لكل خريطة
- نشر كبير: 1,000,000+ إدخال لكل خريطة

حساب الذاكرة:

```
ذاكرة الخريطة = (حجم المفتاح + حجم القيمة) × السعة
```

على سبيل المثال، تستخدم خريطة PDR 64 مع 1 مليون إدخال وقيم بحجم 64 بايت حوالي ميجابايت من ذاكرة النواة.

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض السعة بتحديث تلقائي كل 10 ثوانٍ.

عرض التكوين

الرابط: `/upf_config`

الميزات

يعرض عرض التكوين معلمات تشغيل UPF وتكوين مستوى البيانات.

تكوين UPF

يعرض تكوين UPF الثابت:

- **واجهة PFCP**: عنوان IP والمنفذ للاتصال بـ SMF/PGW-C
- **واجهة N3**: عنوان IP للاتصال بـ RAN (gNB/eNodeB)

- **واجهة N6**: عنوان IP للاتصال بالشبكة البيانات
- **واجهة N9**: عنوان IP للتواصل بين UPFs (اختياري)
- **منفذ API**: منفذ استماع واجهة برمجة التطبيقات REST
- **الإصدار**: إصدار برنامج OmniUPF

تكوين مستوى البيانات (eBPF)

يعرض معلمات مستوى البيانات النشطة في وقت التشغيل:

- **النشط** N3: ربط واجهة في وقت التشغيل **عنوان N3**
- **النشط** N9: ربط واجهة (إذا تم تمكينه) في وقت التشغيل **عنوان N9**

تعكس هذه القيم تكوين مسار eBPF الفعلي وقد تختلف عن التكوين الثابت إذا تم تغيير الواجهات.

حالات الاستخدام

تحقق من اتصال UPF:

1. تحقق من أن عنوان واجهة N3 يتطابق مع تكوين gNB
2. تحقق من أن واجهة N6 يمكنها التوجيه إلى الشبكة البيانات
3. تأكد من أن واجهة PFCP قابلة للوصول من SMF

استكشاف مشكلات الواجهة:

1. قارن التكوين الثابت مع العناوين النشطة في مستوى البيانات
2. تحقق من أن الواجهات مرتبطة بشكل صحيح
3. تحقق من تغييرات تكوين الواجهة

التوثيق والتدقيق:

1. سجل تكوين UPF للتوثيق
2. تحقق من أن النشر يتطابق مع مواصفات التصميم
3. تدقيق تعيينات الواجهة

عرض المسارات

الرابط: `/routes`

الميزات

يوفر عرض المسارات مراقبة شاملة لمسارات IP لمعدات المستخدم (UE) وجلسات بروتوكول التوجيه (BGP و OSPF).

نظرة عامة على حالة المسار

تعرض لوحة المعلومات إحصائيات المسار المجمعة:

- **الحالة**: تمكين أو تعطيل التوجيه
- **إجمالي المسارات**: إجمالي عدد مسارات IP لمعدات UE
- **متزامن**: عدد المسارات المتزامنة بنجاح
- **فشل**: عدد المسارات التي فشلت في التزامن

مسارات UE IP النشطة

جدول يعرض جميع مسارات IP النشطة لمعدات المستخدم:

العمود	الوصف
الفهرس	رقم فهرس المسار
عنوان UE IP	عنوان IPv4 أو IPv6 لـ UE المعين

الغرض:

- عرض جميع عناوين IP لـ UE التي تم تكوين مسارات لها
- التحقق من توزيع المسارات إلى بروتوكولات التوجيه
- مراقبة حالة تزامن المسارات

جيران OSPF

جدول لجيران بروتوكول OSPF (Open Shortest Path First):

العمود	الوصف
معرف الجار	معرف جهاز توجيه OSPF
العنوان	عنوان IP لجار OSPF
الواجهة	الواجهة المستخدمة لجوار OSPF
الحالة	حالة جوار OSPF (كاملة، أولية، إلخ)
الأولوية	قيمة أولوية OSPF
مدة التشغيل	المدة التي كان فيها الجار نشطًا
مدة الموت	الوقت حتى يعتبر الجار ميتًا

حالات OSPF:

- **كاملة** (أخضر): متجاورة بالكامل وتبادل معلومات التوجيه
- **حالات أخرى** (أصفر): تشكيل الجوار أو غير مكتمل

أقران BGP

جدول لأقران بروتوكول BGP (Border Gateway Protocol):

العمود	الوصف
عنوان الجار	عنوان IP للجار BGP
ASN	رقم النظام المستقل للجار
الحالة	حالة جلسة BGP (تأسست، خاملة، إلخ)
المدة	مدة الحالة الحالية
البادئات المستلمة	عدد بادئات المسار المستلمة من الجار
الرسائل المرسلة	إجمالي رسائل BGP المرسلة إلى الجار
الرسائل المستلمة	إجمالي رسائل BGP المستلمة من الجار

حالات BGP:

- نشطة، تتبادل المسارات BGP **تأسست** (أخضر): جلسة
- **حالات أخرى** (أحمر): الجلسة متوقفة أو في مرحلة التأسيس

يعرض الرأس أيضًا معرف جهاز توجيه BGP و ASN المحلي عندما يكون BGP مكونًا.

المسارات المعاد توزيعها OSPF

جدول يظهر LSAs الخارجية OSPF (إعلانات حالة الربط) المعاد توزيعها لـ UE للمسارات:

العمود	الوصف
معرف حالة الربط	معرف LSA (عادةً عنوان الشبكة)
القناع	قناع الشبكة للمسار
جهاز التوجيه المعلن	معرف جهاز التوجيه الذي يعلن عن هذا المسار الخارجي
نوع المقياس	نوع مقياس OSPF الخارجي (E1 أو E2)
المقياس	مقياس تكلفة OSPF للمسار
العمر	الوقت منذ أن تم إنشاء LSA (بالثواني)
رقم التسلسل	رقم تسلسل LSA للتحديثات

الغرض:

- التحقق من أن مسارات OSPF يتم إعادة توزيعها في UE
- مراقبة أي جهاز توجيه يعلن عن المسارات الخارجية
- تتبع عمر LSA والتحديثات

إجراءات التحكم في المسارات

زر مزامنة المسارات:

- يحفز FRR (Free Range Routing) مزامنة المسارات إلى UE يدويًا
- يجبر تحديث بروتوكول التوجيه مع المسارات الحالية لـ
- مفيد بعد تغييرات التكوين أو لاستعادة من فشل المزامنة

زر التحديث:

- يقوم بتحديث جميع معلومات المسار يدويًا
- يحدث جيران OSPF، أقران BGP، وجداول المسارات

حالات الاستخدام

مراقبة صحة بروتوكول التوجيه:

1. انتقل إلى عرض المسارات
2. تحقق من حالات جيران OSPF ("يجب أن تكون "كاملة)
3. تحقق من أن أقران BGP "تأسست"
4. تأكد من العدد المتوقع من الجيران/الأقران

التحقق من توزيع مسارات UE:

1. تحقق من جدول مسارات UE IP لـ UE النشطة محدد
2. انتقل إلى قسم المسارات المعاد توزيعها OSPF
3. تحقق من ظهور مسار UE في LSAs الخارجية
4. تأكد من أن جهاز التوجيه المعلن يتطابق مع UPF المتوقع

استكشاف مشكلات مزامنة المسارات:

1. تحقق من العدادات المتزامنة مقابل الفاشلة في نظرة الحالة
2. إذا كانت المسارات تفشل، انقر على زر "مزامنة المسارات"
3. راقب رسائل الخطأ في الشريط الأحمر إذا فشلت المزامنة
4. تحقق من رسائل الخطأ OSPF/BGP في الأقسام المعنية

التحقق من نشر متعدد UPF:

1. حدد مثيلات UPF المختلفة من القائمة المنسدلة
2. قارن عدد المسارات عبر المثيلات
3. تحقق من أن جيران OSPF يرون بعضهم البعض
4. تحقق من علاقات الاقتران BGP

مراقبة توسيع المسارات:

1. تتبع العدد الإجمالي للمسارات مع زيادة جلسات UE
2. تحقق من توزيع المسارات إلى بروتوكولات التوجيه
3. راقب نمو عدد LSAs OSPF
4. تحقق من عدد بادئات BGP المستلمة من الأقران

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض المسارات بتحديث تلقائي كل 10 ثوانٍ لعرض حالة بروتوكول التوجيه الحالية ومسارات UE.

تكامل التوجيه

يتكامل عرض المسارات مع FRR (Free Range Routing) الذي يعمل على UPF:

- **OSPF**: يتم إعادة توزيع المسارات كـ LSAs 2 خارجية من النوع
- **BGP**: يتم الإعلان عن المسارات إلى أقران BGP المكونة
- **آلية المزامنة**: تستدعي مكالمات واجهة برمجة التطبيقات REST أوامر vtysh لتحديث FRR

عرض قدرات XDP

الرابط: `/xdp_capabilities`

الميزات

يعرض عرض قدرات XDP دعم وضع eXpress Data Path (XDP) وقدرات الأداء وحسابات الإنتاجية لمسار بيانات UPF.

تكوين الواجهة

يعرض معلومات واجهة الشبكة والسائق:

الحقل	الوصف
اسم الواجهة	واجهة الشبكة المستخدمة لـ XDP (مثل eth0، ens1f0)
السائق	اسم سائق الشبكة (مثل i40e، ixgbe، virtio_net)
إصدار السائق	سلسلة إصدار السائق
الوضع الحالي	وضع XDP النشط (DRV أو SKB أو NONE)
عدد الطوابير المتعددة	عدد أزواج طوابير NIC للمعالجة المتوازية

أوضاع XDP

يعرض العرض جميع أوضاع XDP مع حالة دعمها وخصائص الأداء:

XDP_DRV (وضع السائق):

- **الأداء**: ~10-5 Mpps (ملايين الحزم في الثانية)
- **الوصف**: دعم XDP الأصلي في السائق، أعلى أداء
- **يتطلب**: سائق NIC مع دعم XDP الأصلي (i40e، ixgbe، mlx5، إلخ)
- **الحالة**: مدعوم إذا كان لدى السائق خطافات XDP
- **المؤشر**: علامة تحقق خضراء (✓) إذا كان مدعومًا، علامة X حمراء (✗) إذا لم يكن كذلك

XDP_SKB (الوضع العام):

- **الأداء**: ~1-2 Mpps
- **الوصف**: وضع احتياطي يستخدم كومة الشبكة في النواة
- **يتطلب**: أي واجهة شبكة
- **الحالة**: مدعوم دائمًا
- **المؤشر**: علامة تحقق خضراء (✓)

مؤشر الوضع الحالي:

- نقطة زرقاء بجوار وضع XDP النشط حاليًا
- يظهر أي وضع قيد الاستخدام فعليًا

أسباب عدم دعم الوضع:

- إذا كان الوضع غير مدعوم، يوضح حقل "السبب" السبب
- عدم توافق نوع الواجهة، XDP الأسباب الشائعة: السائق يفتقر إلى دعم

عرض قدرات XDP التفاعلية وحاسبة الإنتاجية، الأوضاع المدعومة، تكوين الواجهة يظهر Mpps

التوصيات

يعرض العرض شريط توصية ملون بناءً على التكوين الحالي:

أخضر (مثالي):

- "✓ مع دعم السائق الأصلي XDP_DRV مثالي: تم تمكين وضع"
- الوضع الأعلى أداءً نشط

أصفر (تحذير):

- "⚠ يُعتبر الترقية إلى وضع XDP_DRV للحصول على أداء أفضل"
- يعمل في الوضع العام عندما يكون وضع السائق متاحًا
- "⚠ تحذير: وضع XDP_DRV لسائق غير مدعوم من قبل هذا"

- القيود على الأجهزة تمنع الأداء الأمثل

أزرق (معلومات):

- معلومات عامة حول تكوين XDP

حاسبة أداء Mpps

حاسبة تفاعلية لتحويل معدل الحزم (Mpps) إلى الإنتاجية (Gbps):

معلمات الإدخال

معدل الحزم (Mpps):

- النطاق: 0.1 - 100 Mpps
- الافتراضي: الحد الأقصى لـ XDP الحالي لوضع Mpps
- يمثل ملايين الحزم المعالجة في الثانية

متوسط حجم الحزمة (بايت):

- النطاق: 64 - 9000 بايت
- الافتراضي: 1200 بايت (نموذجية حزمة GTP)
- يتضمن الحزمة الكاملة مع تغليف GTP

أزرار الإعداد السريع:

- **64B (الحد الأدنى)**: الحد الأدنى لحجم إطار Ethernet
- **128B**: حزم صغيرة
- **256B**: مستوى التحكم أو الإشارات
- **512B**: حزم متوسطة الحجم
- **1024B**: حزم كبيرة
- **1518B (الحد الأقصى)**: الحد الأقصى لحجم إطار Ethernet بدون إطارات ضخمة

نتائج الحساب

إجمالي الإنتاجية (Gbps):

- الإنتاجية بمعدل السلك بما في ذلك جميع الرؤوس
- الصي��ة: `Gbps = Mpps × Packet_Size × 8 / 1000`

- يتضمن رؤوس Ethernetو IPو UDPو GTP

معدل بيانات المستخدم (Gbps):

- الإنتاجية الفعلية للحمولة المستخدم
- يستبعد GTP ~50 بايت من تكلفة تغليف
- الصيغة: `Gbps = Mpps × (Packet_Size - 50) / 1000`

معدل الحزم:

- يعرض Mpps والحزم/الثانية مع فاصل الآلاف
- مثال: 10 Mpps = 10,000,000 حزمة/ثانية

عرض الصيغة:

- يظهر تفاصيل الحساب خطوة بخطوة
- مثال: `10 Mpps × 1200 96 = 1000 ÷ بايت/بت 8 × بايت Gbps`

فهم Mpps

يتضمن العرض قسم تفسير يغطي:

ما هو Mpps:

- ملايين الحزم في الثانية
- مقياس رئيسي لأداء معالجة الحزم
- مستقل عن حجم الحزمة

العلاقة بالإنتاجية:

- نفس Mpps مع حزم أكبر = Gbps أعلى
- نفس Mpps مع حزم أصغر = Gbps أقل
- تعتمد الإنتاجية على كل من المعدل وحجم الحزمة

تكلفة تغليف GTP:

- رأس Ethernet: 14 بايت
- رأس IP: 20 بايت (IPv4) أو 40 بايت (IPv6)

- رأس UDP: 8 بايت
- رأس GTP: 8 بايت (الحد الأدنى)
- إجمالي التكلفة النموذجية: ~50 بايت لكل حزمة

حالات الاستخدام

تقييم أداء XDP:

1. انتقل إلى عرض قدرات XDP
2. تحقق من وضع XDP الحالي (يجب أن يكون DRV للحصول على أفضل أداء)
3. لاحظ نطاق أداء Mpps
4. راجع شريط التوصية

حساب الإنتاجية المتوقعة:

1. أدخل معدل الحزمة المتوقع في Mpps
2. أدخل متوسط حجم الحزمة لملف حركة المرور الخاص بك
3. راجع الإنتاجية المحسوبة في Gbps
4. قارن مع سعة الرابط أو متطلبات الأداء

تحسين تكوين XDP:

1. تحقق مما إذا كان وضع XDP_DRV مدعومًا ولكن غير نشط
2. راجع إصدار السائق والتوافق
3. اتبع التوصية لترقية الوضع إلى وضع السائق إذا كان متاحًا
4. تحقق من أن عدد الطوابير المتعددة يتوافق مع أنوية CPU

تخطيط السعة:

1. استخدم الحاسبة لتحديد Mpps المطلوب للإنتاجية المستهدفة
2. قارن مع قدرات وضع XDP الحالي
3. حدد ما إذا كانت هناك حاجة لترقية الأجهزة
4. خطط لاختيار الواجهة والسائق للن��ر الجديد

استكشاف مشكلات الأداء:

1. تحقق من أن وضع XDP هو DRV، وليس SKB
2. تحقق من إصدار السائق لأية مشكلات أداء معروفة

3. تحقق من أن عدد الطوابير المتعددة كافٍ
4. احسب ما إذا كان الوضع الحالي يدعم الإنتاجية المطلوبة

نصائح لتحسين الأداء

وضع السائق (XDP_DRV):

- استخدم NICs مع دعم XDP الأصلي (Intel i40e/ixgbe، Mellanox mlx5)
- تحديث برامج تشغيل NIC إلى أحدث إصدار
- تمكين الطوابير المتعددة للمعالجة المتوازية (RSS)
- ضبط أحجام مخازن NIC

الوضع العام (XDP_SKB):

- مقبول للتطوير والاختبار
- غير موصى به للإنتاج عالي الإنتاجية
- النظر في ترقية الأجهزة للنشر الإنتاجي

تكوين الطوابير المتعددة:

- يجب أن يتطابق عدد الطوابير مع أو يتجاوز عدد أنوية CPU
- يمكّن المعالجة المتوازية للحزم عبر الأنوية
- يوزع الحمل عبر RSS (توزيع الحمل على جانب الاستقبال)

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض قدرات XDP بالتحديث كل 30 ثانية لتحديث حالة الواجهة ومعلومات الوضع.

عارض السجلات

الرابط: `/logs`

الميزات

عرض سجلات تطبيق OmniUPF في الوقت الحقيقي من لوحة التحكم.

الميزات:

- بث سجلات حية عبر Phoenix LiveView
- تحديثات في الوقت الحقيقي عند إنشاء السجلات
- تاريخ سجلات قابل للتمرير
- مفيد لاستكشاف الأخطاء وإصلاحها أثناء الجلسات النشطة

مستويات السجل

تستخدم سجلات OmniUPF مستويات Logger القياسية في Elixir:

- **DEBUG**: معلومات تشخيصية مفصلة
- **INFO**: رسائل معلومات عامة (افتراضي)
- **WARNING**: رسائل تحذير لمشكلات غير حرجة
- **ERROR**: رسائل خطأ للفشل

حالات الاستخدام

استكشاف مشكلات إنشاء الجلسة:

1. افتح عرض السجلات
2. ابدأ إنشاء الجلسة من SMF
3. راقب سجلات رسائل PFCP وأي أخطاء

مراقبة الاتصال PFCP:

1. عرض رسائل إعداد ارتباط PFCP
2. تتبع إنشاء/تعديل/حذف الجلسات
3. تحقق من رسائل نبض القلب

تصحيح مشكلات إعادة التوجيه:

1. ابحث عن أخطاء معالجة الحزم
2. تحقق من سجلات تشغيل خريطة eBPF
3. حدد مشكلات تكوين FAR/PDR

أفضل الممارسات

إرشادات التشغيل

المراقبة:

- تحقق بانتظام من عرض السعة لمنع استنفاد الخريطة
- راقب الإحصائيات للأنماط غير العادية أو الإسقاطات
- تتبع نمو عدد الجلسات بمرور الوقت
- راقب أخطاء معالجة XDP

إدارة المخازن:

- راقب المخازن أثناء سيناريوهات الانتقال
- امسح المخازن العالقة إذا تجاوزت الحزم TTL
- تحقق من تعطيل التخزين بعد إكمال الانتقال
- استخدم "تفريغ" بدلاً من "مسح" لتجنب فقدان الحزم

إدارة الجلسات:

- استخدم الفلاتر للعثور بسرعة على جلسات UE محددة
- قم بتوسيع الجلسات للتحقق من تكوين القاعدة
- قارن الجلسات عبر عدة مثيلات UPF
- تحقق من مؤشر الصحة قبل استكشاف الأخطاء

استكشاف الأخطاء:

- استخدم السجلا�� لاستكشاف الأخطاء في الوقت الحقيقي
- تحقق من عرض الجلسات للتحقق من اتصال UE
- تحقق من تكوين القواعد لتدفقات الحركة
- راقب الإحصائيات لإسقاط الحزم أو أخطاء إعادة التوجيه

الأداء

- يتم تحديث لوحة التحكم تلقائيًا كل 5-10 ثوانٍ حسب العرض
- قد تستغرق قوائم الجلسات الكبيرة وقتًا للتحميل

- يقوم عرض القواعد بتصفية الإدخالات النشطة فقط (URRs حجوم غير صفرية لـ)
- يتم تنفيذ عمليات المخازن على الفور على UPF المحدد

الوثائق ذات الصلة

- تكوين - **دليل إدارة القواعد** URR و QER و FAR و PDR
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات والمقاييس وتخطيط السعة
- مرجع كامل لمقاييس Prometheus - **مرجع المقاييس**
- **رموز أسباب PFCP** - رموز أخطاء PFCP وتشخيص الجلسات
- مرجع واجهة برمجة التطبيقات - **توثيق واجهة برمجة التطبيقات** REST والتصفح
- تفاصيل توجيه - **دليل المس��رات** UE وتكامل FRR
- **دليل أوضاع XDP** - توثيق مفصل لوضع XDP ومعلومات eBPF
- مشكلات شائعة وتشخيصات - **دليل استكشاف الأخطاء**
- **دليل عمليات UPF** - عمليات UPF العامة والهندسة المعمارية

أوضاع إرفاق XDP لـ OmniUPF

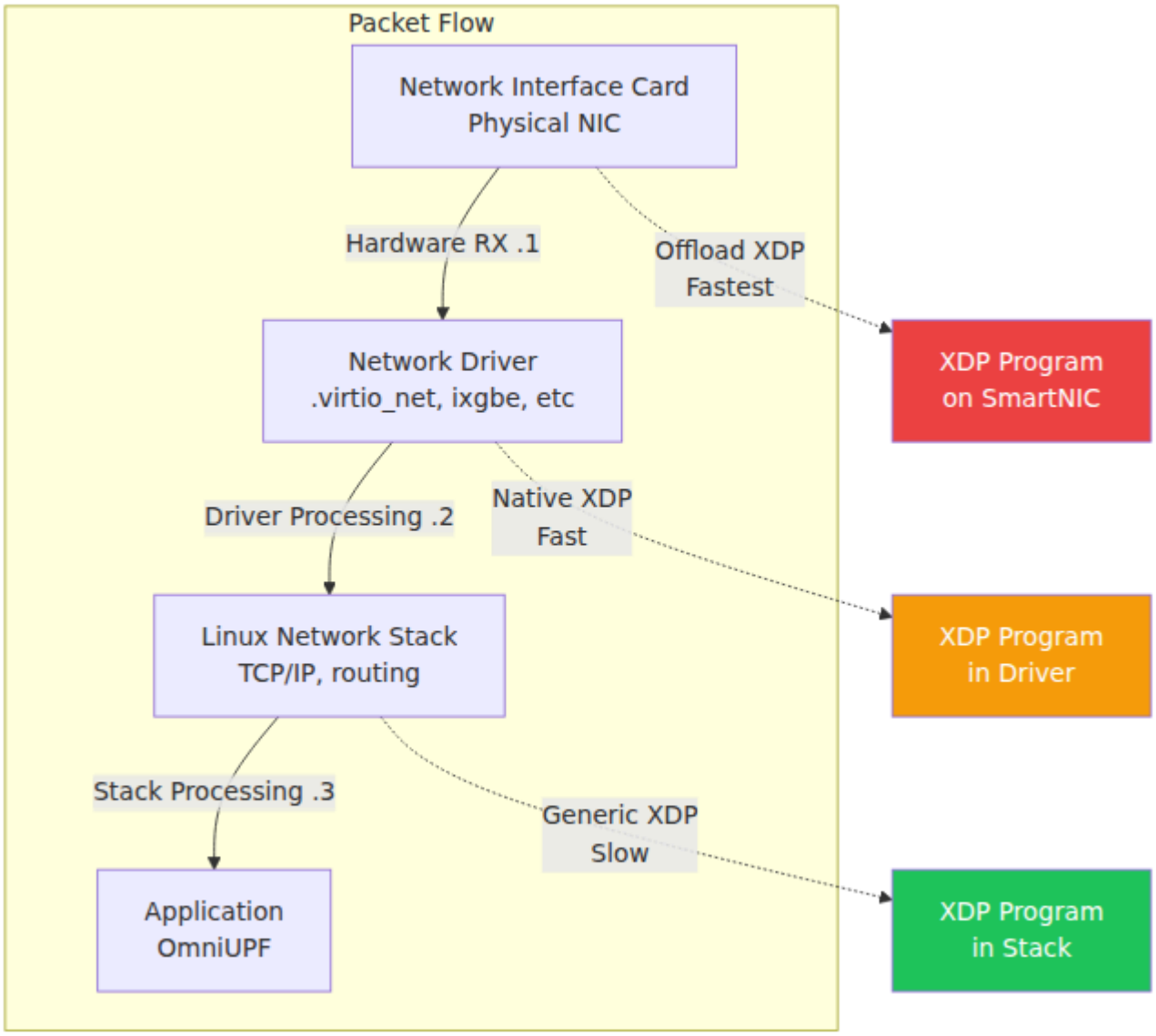
جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. مقارنة وضع XDP
3. الوضع العام (افتراضي)
4. الوضع الأصلي (موصى به للإنتاج)
5. وضع التحميل (SmartNIC)
6. تمكين XDP الأصلي على Proxmox VE
7. تمكين XDP الأصلي على محاكيات أخرى
8. التحقق من وضع XDP
9. استكشاف مشاكل XDP

نظرة عامة

يستخدم OmniUPF **XDP (مسار البيانات السريع)** لمعالجة الحزم عالية الأداء. XDP هي تقنية تسمح لبرامج معالجة الحزم (eBPF) بالتشغيل في أقرب نقطة ممكنة في مكدس نواة Linux في مسار الحزمة eBPF يتم تنفيذ برنامج XDP يحدد وضع إرفاق **أين**:

الشبكة، مما يوف زمن انتقال على مستوى الميكروثانية ومعدل نقل يصل إلى ملايين الحزم في الثانية.



ويحدد ما إذا كنت تستطيع تحقيق OmniUPF الصحيح يؤثر بشكل كبير على أداء XDP اختيار وضع معالجة حزم بمستوى الإنتاج.

مقارنة وضع XDP

الجانب	الوضع العام	الوضع الأصلي	وضع التحميل
نقطة الإرفاق	مكدس الشبكة في Linux	برنامج تشغيل الشبكة	الأجهزة NIC
الأداء	~1-2 Mpps	~5-10 Mpps	~10-40 Mpps
زمن الانتقال	~100 µs	~10 µs	~1 µs
استخدام وحدة المعالجة المركزية	مرتفع	متوسط	منخفض
متطلبات NIC	أي NIC	برنامج تشغيل يدعم XDP	SmartNIC مع دعم XDP
دعم المحاكي	جميع المحاكيات	معظمها (يتطلب تعدد الطوابير)	نادر (تمرير PCI)
حالة الاستخدام	الاختبار، التطوير	**الإنتاج (موصى به)**	مواقع الحافة ذات الإنتاجية العالية
التكوين	`xdp_attach_mode: generic`	`xdp_attach_mode: native`	`xdp_attach_mode: offload`

التوصية: استخدم **الوضع الأصلي** للنشر في الإنتاج. الوضع العام مناسب فقط للاختبار.

الوضع العام (افتراضي)

الوصف

يعمل XDP العام على تشغيل برنامج eBPF في مكدس الشبكة في Linux **بعد** أن يقوم برنامج XDP التشغيل بمعالجة الحزمة. هذا هو أبطأ وضع أي واجهة شبكة XDP ولكنه يعمل م��.

خصائص الأداء

- **معدل النقل** (Mpps): ~1-2 مليون حزمة في الثانية
- **زمن الانتقال**: ~100 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء وحدة المعالجة المركزية**: مرتفع (الحزمة تُنسخ إلى مكدس النواة قبل XDP)

متى تستخدم

- **التطوير والاختبار** فقط
- **بيئات المختبر** حيث لا تهم الأداء
- **النشر الأولي** للتحقق من الوظائف قبل تحسينها

التكوين

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"    # الوضع الافتراضي
```

تحذير: الوضع العام **غير مناسب للإنتاج**. سيصبح عنق زجاجة عند معدلات الحزم العالية ويهدر موارد وحدة المعالجة المركزية.

تحذير حول تحميل المجموعات: في الوضع العام، الحزمة المرسلة هي من النواة، لذا `skb` مثل إعلان) حزمة التحكم **المصدر من المستخدم**. فهي تحمل بيانات المجموعات الخاصة بـ NIC؛ عندما يقوم مسار `CHECKSUM_PARTIAL` تُعَلَّم بـ (UE الذي يجيب على طلب موجه IPv6 الموجه البيانات بإعادة توجيهها وتعديلها، فإن بيانات التحميل القديمة `csum_start`/`csum_offset` **خاطئ** عند الخروج ويقوم المستلم برفضها. هذا لا **UDP** بختم **مجموع** NIC تتسبب في أن يقوم فقط حزم التحكم، ولا يحدث ،(`CHECKSUM_NONE`) XDP-native يؤثر على حركة مرور المستخدم مثل) التي تدعم تحميل المجموعات NICs على .(skb لا يوجد) في الوضع الأصلي/وضع التحميل

virtio) قم بتعطيل تحميل المجموعات TX على NICs الخاصة بمسار البيانات (`ethtool -K <iface> tx off`) — انظر TROUBLESHOOTING.md ("أخطاء IPv6 SLAAC / المتقطعة أخطاء مجموع UDP").

الوضع الأصلي (موصى به للإنتاج)

الوصف

يعمل XDP **داخل برنامج تشغيل الشبكة**، قبل أن تصل eBPF الأصلي على تشغيل برنامج Linux. الحزم إلى مكدس الشبكة في مستوى النواة. يوفر هذا أداءً قريبًا من الأجهزة مع الحفاظ على مرونة على

خصائص الأداء

- **معدل النقل**: ~5-10 مليون حزمة في ا��ثانية (Mpps) لكل نواة
- **زمن الانتقال**: ~10 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء وحدة المعالجة المركزية**: منخفض (الحزمة تُعالج على مستوى برنامج التشغيل)
- **التوسع** NIC: توسع خطي مع أنوية وحدة المعالجة المركزية وطوابير

متى تستخدم

- **نشر الإنتاج** (موصى به)
- **شبكات من الدرجة الأولى** تتطلب إنتاجية عالية
- **سيناريوهات الحوسبة الحافة** مع متطلبات الأداء
- **أي نشر** حيث تهم الأداء

متطلبات برنامج تشغيل NIC

يتطلب XDP الأصلي برنامج تشغيل شبكة يدعم XDP. تدعم معظم NICs الحديثة XDP الأصلي:

NICs الفيزيائية (bare metal):

- Intel: `ixgbe` (10G)، `i40e` (40G)، `ice` (100G)

- Broadcom: `bnxt_en`
- Mellanox: `mlx4_en`، `mlx5_core`
- Netronome: `nfp` (مع دعم التحميل)
- Marvell: `mvneta`، `mvpp2`

NICs (المحاكيات) **الافتراضية**:

- VirtIO: `virtio_net` (KVM، Proxmox، OpenStack) ✓
- VMware: `vmxnet3` ✓
- Microsoft: `hv_netvsc` (Hyper-V) ✓
- Amazon: `ena` (AWS) ✓
- SR-IOV: `ixgbevf`، `i40evf` (تمرير PCI) ✓

ملاحظة: VirtualBox لا يدعم **XDP** (استخدم الوضع العام فقط) **الأصلي**.

التكوين

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
```

متطلبات تعدد الطوابير: لتحقيق الأداء الأمثل، قم بتمكين تعدد الطوابير على NICs الافتراضية (أدناه Proxmox انظر قسم).

وضع التحميل (SmartNIC)

الوصف

يعمل XDP المحمل على تشغيل برنامج eBPF **مباشرة على الأجهزة NIC** (SmartNIC)، متجاوزًا وحدة المعالجة المركزية تمامًا لمعالجة الحزم. يوفر هذا أعلى أداء ولكنه يتطلب أجهزة متخصصة.

خصائص الأداء

- **معدل النقل** (Mpps): ~10-40 مليون حزمة في الثانية
- **زمن الانتقال**: ~1 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء وحدة المعالجة المركزية**: قريب من الصفر (المعالجة على NIC)

متى تستخدم

- **نشر عالي الإنتاجية** (10G+ لكل مثيل UPF)
- **مواقع الحافة** مع تسريع الأجهزة
- **نشر حساس للتكلفة** (تقليل متطلبات وحدة المعال��ة المركزية)

متطلبات الأجهزة

تدعم فقط SmartNICs Netronome Agilio حاليًا تحميل XDP:

- Netronome Agilio CX 10G/25G/40G/100G

ملاحظة: يتطلب وضع التحميل **bare metal** أو **تمرير PCI** - غير متاح في تكوينات VM القياسية.

التكوين

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "offload"
```

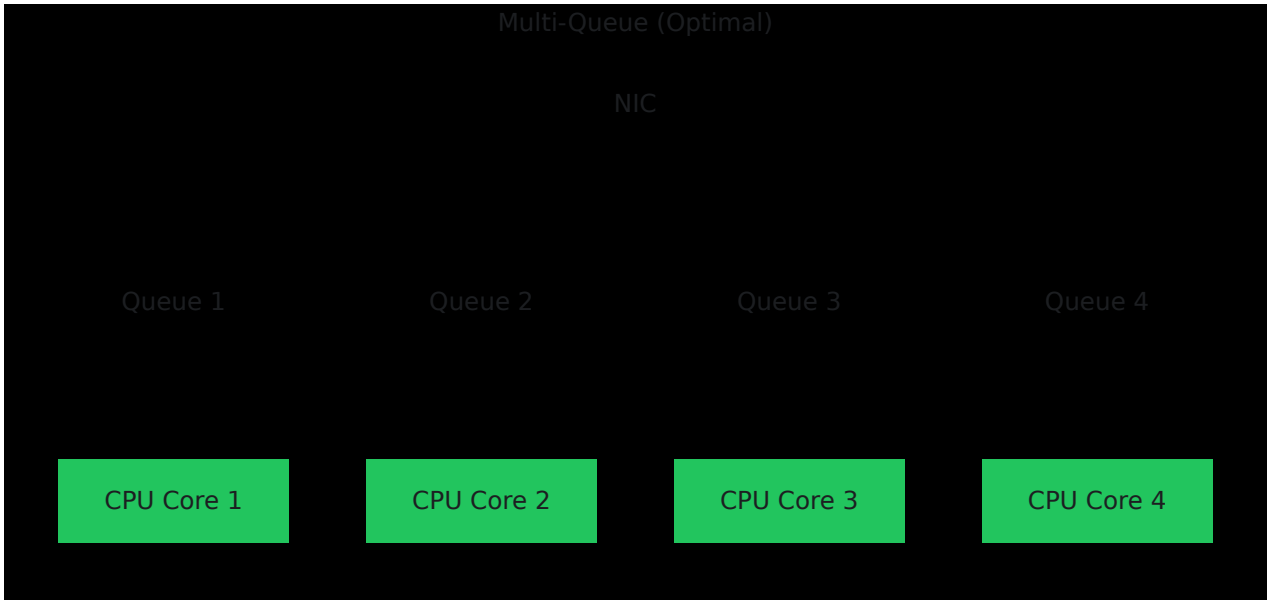
تمكين XDP الأصلي على Proxmox VE

يستخدم Proxmox VE أجهزة الشبكة **VirtIO** التي تدعم XDP الأصلي عبر للآلات الافتراضية، ومع ذلك، يجب عليك تمكين **تعدد الطوابير** لتحقيق الأداء الأمثل. `virtio_net` برنامج التشغيل

الخطوة 1: فهم المتطلبات

لماذا تهم تعدد الطوابير:

- **طابور واحد** (افتراضي): تتم معالجة كل حركة المرور الشبكية بواسطة نواة وحدة معالجة مركزية واحدة → عنق زجاجة
- **تعدد الطوابير**: يتم توزيع الحركة عبر عدة أنوية وحدة معالجة مركزية → توسع خطي





الخطوة 2: تمكين تعدد الطوابير في Proxmox

الخيار أ: عبر واجهة ويب Proxmox

1. **قم بإيقاف تشغيل الآلة الافتراضية تمامًا** (ليس فقط إعادة التشغيل)
    - اختر الآلة الافتراضية الخاصة بك في واجهة ويب Proxmox
    - انقر على **إيقاف التشغيل**
2. **تحرير جهاز الشبكة**
    - انتقل إلى علامة التبويب **الأجهزة**
    - انقر على جهاز الشبكة الخاص بك (مثل `net0`)
    - انقر على **تحرير**
3. **تعيين تعدد الطوابير**
    - ابحث عن حقل **"تعدد الطوابير"**
    - قم بتعيينه إلى **8** (أو مطابق لعدد vCPU 16 بحد أقصى، الخاص بك)
    - انقر عل**موافق**
4. **بدء الآلة الافتراضية**
    - انقر على **بدء**

الخيار ب: عبر سطر أوامر Proxmox

```
# SSH إلى مضيف Proxmox الخاص بك

# ابحث عن معرف الآلة الافتراضية الخاصة بك
qm list

# تعيين تعدد الطوابير (استبدل XXX بمعرف الآلة الافتراضية الخاصة بك)
qm set XXX -net0 virtio=XX:XX:XX:XX:XX:XX,bridge=vmbr0,queues=8

# مثال للآلة الافتراضية 191 مع MAC BC:24:11:1D:BA:00
qm set 191 -net0 virtio=BC:24:11:1D:BA:00,bridge=vmbr0,queues=8

# إيقاف تشغيل الآلة الافتراضية
qm shutdown XXX

# انتظر حتى يتم إيقاف التشغيل، ثم ابدأ
qm start XXX
```

توصيات عدد الطوابير:

- **4** جيد لآلات افتراضية 2-4 vCPU) **طوابير**: الحد الأدنى للإنتاج
- **8** آلات افتراضية 4-8 vCPU) **طوابير**: موصى به لمعظم النشر
- **16** آلات افتراضية 8+ vCPU) **طابور**: الحد الأقصى للأداء العالي

الخطوة 3: التحقق من تعدد الطوابير داخل الآلة الافتراضية

بعد إعادة تشغيل الآلة الافتراضية وتحقق SSH إلى الآلة الافتراضية، قم بـ:

```
# تحقق من تكوين الطابور
ethtool -l eth0

# الناتج المتوقع:
# Channel parameters for eth0:
# Combined:     8         <-- يجب أن يتطابق مع القيمة التي قمت بتكوينها

# عد الطوابير الفعلية
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/rx-* | wc -l
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/tx-* | wc -l

# يجب أن تظهر كلاهما 8 (أو القيمة التي قمت بتكوينها)
```

الخطوة 4: تمكين OmniUPF الأصلي في XDP

قم بتحرير تكوين OmniUPF:

```
# تحرير ملف التكوين
sudo nano /etc/omniupf/runtime.exs
```

قم بتغيير وضع XDP:

```
# قبل
xdp_attach_mode = "generic"

# بعد
xdp_attach_mode = "native"
```

أعد تشغيل OmniUPF:

```
sudo systemctl restart omniupf
```

الخطوة 5: التحقق من أن XDP الأصلي نشط

تحقق من السجلات:

```
# عرض سجلات بدء التشغيل
journalctl -u omniupf --since "1 minute ago" | grep -i
"xdp\|attach"

# الناتج المتوقع:
# xdp_attach_mode:native
# XDPAttachMode:native
# Attached XDP program to iface "eth0" (index 2)
```

تحقق عبر API:

```
# استعلام التكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# الناتج المتوقع:
# "xdp_attach_mode": "native",
```

مشكلات شائعة في Proxmox

المشكلة: "فشل في إرفاق برنامج XDP"

الحل:

- تحقق من تمكين تعدد الطوابير (`ethtool -l eth0`)
- تحقق من إصدار النواة: `uname -r` (يجب أن يكون ≤ 5.15)
- تأكد من تحميل برنامج تشغيل VirtIO: `lsmod | grep virtio_net`

المشكلة: فقط 1 طابور على الرغم من التكوين

الحل:

- يجب أن تكون الآلة الافتراضية **مغلقة تمامًا** (ليس إعادة تشغيل) لتغييرات الطابور
- استخدم `qm shutdown XXX && sleep 5 && qm start XXX`
- تحقق في تكوين Proxmox: `grep net0 /etc/pve/qemu-server/XXX.conf`

المشكلة: الأداء لا يتحسن مع الوضع الأصلي

الحل:

- تحقق من تثبيت وحدة المعالجة المركزية (تجنب الإفراط في الاشتراك)
- يجب توزيع استخدام وحدة المعالجة المركزية عبر الأنوية - راقب `top`
- تحقق من إحصائيات XDP: `curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats`

تمكين XDP الأصلي على محاكيات أخرى

VMware ESXi / vSphere

تستخدم VMware برنامج التشغيل `vmxnet3` الذي يدعم XDP الأصلي.

المتطلبات:

- ESXi 6.7 أو أحدث
- إصدار برنامج تشغيل vmxnet3 1.4.16+ في الآلة الافتراضية
- إصدار الأجهزة للآلة الافتراضية 14 أو أحدث

تمكين تعدد الطوابير:

1. **قم بإيقاف تشغيل الآلة الافتراضية**

2. **تحرير إعدادات الآلة الافتراضية**:
    - انقر بزر الماوس الأيمن على الآلة الافتراضية → تحرير الإعدادات
    - محول الشبكة → متقدم
    - قم بتعيين **توسيع جانب الاستقبال** إلى **مفعل**
3. **تحرير ملف .vmx** (اختياري، لمزيد من الطوابير):

```
ethernet0.pnicFeatures = "4"
ethernet0.multiqueue = "8"
```

4. **بدء الآلة الافتراضية والتحقق**:

```
ethtool -l ens192  # تحقق من عدد الطوابير
```

تكوين OmniUPF (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "ens192"    # تستخدم VMware عادة ens192
xdp_attach_mode = "native"
```

KVM / libvirt (Raw)

تمكين تعدد الطوابير عبر virsh:

```
# تحرير تكوين الآلة الافتراضية
virsh edit your-vm-name
```

أضف إلى قسم واجهة الشبكة:

```
<interface type='network'>
  <source network='default'/>
  <model type='virtio'/>
  <driver name='vhost' queues='8'/>
</interface>
```

أعد تشغيل الآلة الافتراضية والتحقق:

```
ethtool -l eth0
```

Microsoft Hyper-V

تستخدم Hyper-V برنامج التشغيل `hv_netvsc` الذي يدعم XDP الأصلي.

المتطلبات:

- Windows Server 2016 أو أحدث
- خدمات تكامل Linux 4.3+ في الآلة الافتراضية
- الآلة الافتراضية من الجيل 2

تمكين تعدد الطوابير:

على مضيف Hyper-V، PowerShell:

```
# تمكين تعدد الطوابير في Hyper-V (طابور الآلة الافتراضية) VMQ
Set-VMNetworkAdapter -VMName "YourVM" -VrssEnabled $true -
VmmqEnabled $true
```

تكوين OmniUPF (في `runtime.exs`):

```
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
```

VirtualBox

تحذير: لا يدعم VirtualBox **XDP الأصلي**.

السبب: لا تنفذ برامج تشغيل الشبكة في VirtualBox (e1000، virtio-net) روابط XDP.

الحل البديل: استخدم الوضع العام فقط:

```
xdp_attach_mode = "generic"    # الخيار الوحيد لـ VirtualBox
```

التحقق من وضع XDP

بعد تكوين XDP الأصلي، تحقق من أنه يعمل بشكل صحيح:

1. تحقق من سجلات OmniUPF

```
# عرض السجلات الأخيرة
journalctl -u omniupf --since "5 minutes ago" | grep -i xdp

# ابحث عن:
# ✓ "xdp_attach_mode:native"
# ✓ "Attached XDP program to iface"
# ✗ "Failed to attach" أو "falling back to generic"
```

2. تحقق عبر API

```
# استعلام نقطة النهاية للتكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | jq .xdp_attach_mode

# الناتج المتوقع:
# "native"
```

3. تحقق من إحصائيات XDP

```
# عرض إحصائيات معالجة XDP
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# مثال على الناتج:
{
  "xdp_aborted": 0,      # يجب أن تكون 0 (أخطاء)
  "xdp_drop": 1234,      # حزم مرفوضة
  "xdp_pass": 5678,      # تم تمريرها إلى المكدس
  "xdp_redirect": 9012,  # حزم معاد توجيهها
  "xdp_tx": 3456         # حزم مرسلة
}
```

4. تحقق من دعم برنامج التشغيل

```
# تحقق مما إذا كان برنامج التشغيل يدعم XDP
ethtool -i eth0 | grep driver

# بالنسبة لـ Proxmox/KVM: يجب أن تظهر "virtio_net"
# بالنسبة لـ VMware: يجب أن تظهر "vmxnet3"
# بالنسبة لـ Hyper-V: يجب أن تظهر "hv_netvsc"
```

5. اختبار الأداء

قارن معالجة الحزم قبل وبعد:

```
# راقب معدل الحزم
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
.rx_packets'

# الوضع العام: ~1-2 Mpps
# الوضع الأصلي: ~5-10 Mpps (تحسين 5-10x)
```

استكشاف مشاكل XDP

المشكلة: "فشل في إرفاق برنامج XDP" عند بدء التشغيل

الأعراض:

```
خطأ: فشل في إرفاق برنامج XDP على الواجهة eth0
```

التشخيص:

1. **تحقق من دعم برنامج التشغيل**:

   ```
   ethtool -i eth0 | grep driver

   # إذا لم يكن برنامج التشغيل هو
   virtio_net/vmxnet3/hv_netvsc، فلن يعمل XDP الأصلي
   ```

2. **تحقق من إصدار النواة**:

   ```
   uname -r

   # يجب أن يكون ≥ 5.15 لدعم XDP بشكل موثوق
   ```

3. **تحقق من وجود برامج XDP موجودة**:

   ```
   ip link show eth0 | grep xdp

   # إذا تم إرفاق برنامج XDP أولاً، قم بإلغاء تحميله
   ip link set dev eth0 xdp off
   ```

الحل:

- قم بتحديث النواة إلى 5.15+ إذا كانت أقدم
- تأكد من تحميل برنامج تشغيل virtio_net: `modprobe virtio_net`

- الأصلي XDP تراجع إلى الوضع العام إذا لم يدعم برنامج التشغيل

المشكلة: الوضع الأصلي يتراجع إلى الوضع العام

الأعراض:

```
تحذير: التراجع إلى وضع XDP العام
```

التشخيص:

تحقق من `dmesg` لأخطاء برنامج التشغيل:

```
dmesg | grep -i xdp | tail -20
```

الأسباب الشائعة:

1. **برنامج التشغيل لا يدعم XDP الأصلي**:
   - برامج تشغيل VirtualBox (لا دعم لـ XDP الأصلي)
   - برامج تشغيل NIC الأقدم
2. **تعدد الطوابير غير مفعل**:
   - تحقق: `ethtool -l eth0`
   - يجب أن تظهر > 1 طابور مشترك
3. **تعطيل دعم XDP في نواة Linux**:

```
# تحقق مما إذا كان XDP مفعلًا في النواة
grep XDP /boot/config-$(uname -r)

# يجب أن تظهر:
# CONFIG_XDP_SOCKETS=y
# CONFIG_BPF=y
```

الحل:

- قم بتمكين تعدد الطوابير (انظر قسم Proxmox)
- قم بتحديث برنامج التشغيل المدعوم
- أعد بناء النواة مع دعم XDP إذا لزم الأمر

المشكلة: الأداء لا يتحسن مع الوضع الأصلي

الأعراض: تم تمكين الوضع الأصلي ولكن معدل الحزم هو نفسه الوضع العام

التشخيص:

1. **تحقق من توزيع تعدد الطوابير**:

```
# تحقق من إحصائيات كل طابور
ethtool -S eth0 | grep rx_queue

# يجب توزيع الحركة عبر عدة طوابير
```

2. **تحقق من استخدام وحدة المعالجة المركزية**:

```
# راقب استخدام وحدة المعالجة المركزية لكل نواة
mpstat -P ALL 1

# يجب أن ترى الحمل موزعًا عبر عدة وحدات معالجة مركزية
```

3. **تحقق من أن XDP يعمل فعلاً في الوضع الأصلي**:

```
# تحقق من bpftool (إذا كان متاحًا)
sudo bpftool net list

# يجب أن تظهر XDP مرتبطة بالواجهة
```

الحل:

- زيادة عدد الطوابير (8-16 طابور)
- تمكين تثبيت وحدة المعالجة المركزية لتجنب هجرة النواة
- تحقق من الإفراط في الاشتراك في وحدة المعالجة المركزية على المحاكي

المشكلة: تم إلغاء برنامج XDP (xdp_aborted > 0)

الأعراض:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
{
  "xdp_aborted": 1234,  # غير صفر يشير إلى الأخطاء
  ...
}
```

التشخيص:

يعني إلغاء XDP أن برنامج eBPF واجه خطأ أثناء التنفيذ.

1. **تحقق من سجلات المدقق eBPF**:

   ```
   dmesg | grep -i bpf | tail -20
   ```

2. **تحقق من حدود حجم الخريطة**:

   ```
   # قد تكون خرائط eBPF ممتلئة
   curl http://localhost:8080/api/v1/map_info

   # ابحث عن الخرائط عند 100% سعة
   ```

الحل:

- زيادة أحجام خرائط eBPF في التكوين
- تحقق من الحزم الفاسدة التي تسبب أخطاء eBPF
- تحقق من دعم نواة Linux لـ eBPF بشكل كامل

المشكلة: تعدد الطوابير لا يعمل على Proxmox

الأعراض: `ethtool -l eth0` يظهر فقط 1 طابور على الرغم من التكوين

التشخيص:

1. **تحقق من تكوين الآلة الافتراضية في Proxmox**:

```
# على مضيف Proxmox
grep net0 /etc/pve/qemu-server/YOUR_VM_ID.conf

# يجب أن تظهر: queues=8
```

2. **تحقق من أن الآلة الافتراضية كانت مغلقة تمامًا**:

```
# على مضيف Proxmox
qm status YOUR_VM_ID

# يجب أن تظهر "status: stopped" قبل البدء
```

الحل:

```
# على مضيف Proxmox
# قم بإيقاف التشغيل القسري وأعد التشغيل
qm shutdown YOUR_VM_ID
sleep 10
qm start YOUR_VM_ID

# ثم تحقق داخل الآلة الافتراضية
ethtool -l eth0
```

مهم: تتطلب تغييرات عدد الطوابير **إيقاف تشغيل كامل للآلة الافتراضية**، وليس مجرد إعادة تشغيل من داخل الآلة الافتراضية.

المشكلة: إذن مرفوض عند إرفاق XDP

الأعراض:

```
خطأ: إذن مرفوض عند إرفاق برنامج XDP
```

التشخيص:

تتطلب عمليات XDP قدرات `CAP_NET_ADMIN` و `CAP_SYS_ADMIN`.

الحل:

1. **قم بتشغيل OmniUPF** (أو مع القدرات) **كجذر**:

```
sudo systemctl restart omniupf
```

2. **إذا كنت تستخدم systemd**، تحقق من أن ملف الخدمة يحتوي على القدرات:

```
# /lib/systemd/system/omniupf.service
[Service]
CapabilityBoundingSet=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN
CAP_NET_RAW
AmbientCapabilities=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN
CAP_NET_RAW
```

3. **إذا كنت تستخدم Docker**، قم بتشغيله مع `--privileged`:

```
docker run --privileged -v /sys/fs/bpf:/sys/fs/bpf ...
```

ملخص تأثير الأداء

مقارنة الأداء في العالم الحقيقي لمعالجة الحزم في OmniUPF:

السيناريو	الوضع العام	الوضع الأصلي	التحسين
معدل الحزم	1.5 Mpps	8.2 Mpps	**أسرع 5.5x**
زمن الانتقال	95 µs	12 µs	**أقل 8x**
استخدام وحدة المعالجة المركزية (1 Gbps)	85% (نواة واحدة)	15% (موزعة)	**أكثر 5x كفاءة**
الحد الأقصى للإنتاجية	~1.2 Gbps	~10 Gbps	**أعلى 8x**

التوصية: استخدم دائمًا **الوضع الأصلي** مع **تمكين تعدد الطوابير** للنشر في الإنتاج.

توصيات الأجهزة لـ XDP

⚠ مهم: قبل شراء أي أجهزة، استشر دعم Omnitouch للتأكد من أنها متوافقة مع تكوينك ومتطلبات النشر المحددة بنسبة 100%.

NICs المعروفة الجيدة لدعم XDP الأصلي

تدعم هذه NICs بشكل موثوق الوضع الأصلي لـ XDP مع OmniUPF:

NICs Intel (موصى بها لـ Bare Metal)

النموذج	السرعة	برنامج التشغيل	دعم XDP	الملاحظات
Intel X520	10GbE	ixgbe	✓ أصلي	مثبت، متاح على نطاق واسع، سعر/أداء جيد
Intel X710	10/40GbE	i40e	✓ أصلي	دعم ممتاز لتعدد الطوابير
Intel E810	100GbE	ice	✓ أصلي	أحدث جيل، أفضل أداء
Intel i350	1GbE	igb	✓ أصلي (النواة 5.10+)	جيد لاحتياجات عرض النطاق الترددي المنخفض

بطاقات الشبكة Mellanox/NVIDIA (أداء عالي)

النموذج	السرعة	السائق	دعم XDP	ملاحظات
ConnectX-4	25/50/100GbE	mlx5	Native ✓	نقل عالي، جيد للحوسبة الطرفية
ConnectX-5	25/50/100GbE	mlx5	Native ✓	أداء ممتاز، تسريع بالأجهزة
ConnectX-6	50/100/200GbE	mlx5	Native ✓	الجيل الأخير، الأفضل للنقل الفائق
BlueField-2	100/200GbE	mlx5	Native ✓	SmartNIC مع قدرات DPU

بطاقات الشبكة Broadcom

النموذج	السرعة	السائق	دعم XDP	ملاحظات
سلسلة BCM57xxx	10/25/50GbE	bnxt_en	Native ✓	شائعة في خوادم Dell/HP

بطاقات الشبكة الافتراضية (نشر VM)

المنصة	نوع بطاقة الشبكة	السائق	دعم XDP	متعدد الطوابير	ملاحظات
Proxmox/KVM	VirtIO	virtio_net	Native ✓	نعم (قابل للتكوين)	**الأفضل لـ VMs**
VMware ESXi	vmxnet3	vmxnet3	Native ✓	نعم	يتطلب ESXi 6.7+
Hyper-V	بطاقة شبكة اصطناعية	hv_netvsc	Native ✓	نعم	Windows Server 2016+
AWS	ENA	ena	Native ✓	نعم	مثيلات EC2 المعدنية
VirtualBox	أي	متنوع	عام فقط	لا	غير موصى به للإنتاج

بطاقات الشبكة مع دعم تحميل الأجهزة

تحميل الأجهزة الحقيقي XDP (يعمل على بطاقة الشبكة eBPF):

البائع	النموذج	السرعة	ملاحظات
Netronome	Agilio CX 10G	10GbE	مؤكد فقط XDP دعم تحميل
Netronome	Agilio CX 25G	25GbE	يتطلب برنامج ثابت خاص
Netronome	Agilio CX 40G	40GbE	مكلف جداً (~2,500-5,000$)
Netronome	Agilio CX 100G	100GbE	فقط للدرجات المؤسسية

ملاحظة: بطاقات الشبكة ذات تحميل الأجهزة نادرة ومكلفة، وتتطلب نشرًا على المعدن العاري. يجب أن تستخدم معظم النشر XDP الأصلي بدلاً من ذلك.

التكوينات المختبرة

تم التحقق من هذه التكوينات مع OmniUPF في الإنتاج:

خيار الميزانية (1-10 جيجابت في الثانية)

- **بطاقة الشبكة**: Intel X520 (10GbE مزدوجة المنفذ)
- **الوضع**: XDP أصلي
- **النقل** UPF: ~8-10 جيجابت في الثانية لكل مثيل
- **التكلفة**: ~100-200$ (مستعمل/مجدّد)

النطاق المتوسط (10-50 جيجابت في الثانية)

- **بطاقة الشبكة**: Intel X710 (40GbE) أو Mellanox ConnectX-4 (25GbE)
- **الوضع**: XDP أصلي
- **النقل** UPF: ~25-40 جيجابت في الثانية لكل مثيل
- **التكلفة**: ~300-800$

النطاق العالي (50-100+ جيجابت في الثانية)

- **بطاقة الشبكة**: Mellanox ConnectX-5/6 (100GbE)
- **الوضع**: XDP أصلي
- **النقل** UPF: ~80-100 جيجابت في الثانية لكل مثيل
- **التكلفة**: ~1,000-2,500$

نشرات VM (Proxmox/KVM)

- **بطاقة الشبكة**: VirtIO مع 8-16 طابور
- **الوضع**: XDP أصلي
- **النقل**: ~5-10 جيجابت في الثانية لكل مثيل UPF
- **التكلفة**: لا تكلفة إضافية ع��ى الأجهزة

ما يجب تجنبه

تجنب هذه الخيارات لنشر OmniUPF في الإنتاج:

البديل	السبب	بطاقة الشبكة/المنصة
أو أفضل Intel i350	لا دعم لـ XDP، برامج تشغيل Linux ضعيفة	**بطاقات الشبكة Realtek**
الانتقال إلى Proxmox/KVM	أصلي XDP لا دعم	**VirtualBox**
بطاقات Intel/Mellanox من فئة الخادم	دعم طوابير محدود، غير موثوق	**بطاقات الشبكة من فئة المستهلك**
أو أحدث Intel X520	لا دعم لبرامج تشغيل XDP	**بطاقات الشبكة القديمة جداً** (<2014)

قائمة التحقق قبل الشراء

قبل شراء الأجهزة، تحقق من:

1. □ **دعم السائق**: تحقق مما إذا كان سائق Linux يدعم XDP

   ```
   # على نظام مشابه
   modinfo <driver_name> | grep -i xdp
   ```

2. □ **إصدار النواة**: تأكد من أن النواة ≥ 5.15 لـ XDP موثوق

```
uname -r
```

3. ✅ **متعدد الطوابير**: تحقق مما إذا كانت بطاقة الشبكة تدعم طوابير متعددة (RSS/VMDq)

4. ✅ **عرض النطاق الترددي PCI**: تأكد من أن فتحة PCIe تحتوي على مسارات كافية
   - 10GbE: PCIe 2.0 x4 كحد أدنى
   - 40GbE: PCIe 3.0 x8 كحد أدنى
   - 100GbE: PCIe 3.0 x16 أو PCIe 4.0 x8

5. ✅ **نوع النشر**:
   - المعدن العاري: تحتاج إلى بطاقة شبكة فعلية
   - VM: تحتاج إلى دعم SR-IOV أو VirtIO
   - الحاوية: يتم وراثة تكوين بطاقة الشبكة المضيفة

⚠ لا تشتري الأجهزة بناءً على هذا الدليل فقط - تحقق دائمًا مع دعم Omnitouch أولاً!

موارد إضافية

- **دليل التكوين**: CONFIGURATION.md - مرجع تكوين كامل
- **دليل استكشاف الأخطاء**: TROUBLESHOOTING.md - تشخيص شامل للمشكلات
- **دليل الهندسة المعمارية**: ARCHITECTURE.md - تفاصيل هندسة XDP و eBPF
- **دليل المراقبة**: MONITORING.md - مراقبة الأداء والإحصائيات

مرجع سريع

إعداد XDP الأصلي في Proxmox (TL;DR)

```
# على مضيف Proxmox:
qm set <VM_ID> -net0 virtio=<MAC>,bridge=vmbr0,queues=8
qm shutdown <VM_ID> && sleep 10 && qm start <VM_ID>

# داخل VM:
ethtool -l eth0  # تحقق من 8 طوابير
sudo nano /etc/omniupf/runtime.exs  # تعيين: xdp_attach_mode =
"native"
sudo systemctl restart omniupf
journalctl -u omniupf --since "1 min ago" | grep xdp  # تحقق من
الوضع الأصلي
```

تحقق من أن وضع XDP نشط

```
# تحقق من التكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# تحقق من الإحصائيات
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# تحقق من الطوابير
ethtool -l eth0
```

وثائق واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF

نظرة عامة

توفر واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF واجهة RESTful شاملة لإدارة ومراقبة وظيفة مستوى المستخدم المستندة إلى eBPF. تتيح واجهة برمجة التطبيقات التحكم والمراقبة في الوقت الفعلي لجميع مكونات UPF.

قدرات واجهة برمجة التطبيقات

إدارة الجلسات:

- **جلسات PFCP**: استعلام عن الجلسات النشطة، عرض تفاصيل الجلسة، تصفية حسب عنوان IP للـ UE أو TEID
- **جمعيات PFCP**: مراقبة جمعيات عقدة التحكم وحالتها

قواعد المرور:

- **قواعد كشف الحزم (PDR)**: فحص مصنفات حركة المرور في الاتجاه الصاعد والهابط (IPv4/IPv6)
- **قواعد إجراءات التوجيه (FAR)**: عرض سياسات التوجيه والتخزين والإسقاط
- **قواعد تنفيذ QoS (QER)**: مراقبة تحديد المعدل وسياسات QoS
- **قواعد تقارير الاستخدام (URR)**: تتبع عدادات حجم البيانات لكل جلسة

تخزين الحزم:

- **حالة التخزين**: عرض الحزم المخزنة لكل FAR (`GET /buffer`, `GET /buffer/:far_id`)
- **عمليات التخزين**: تفريغ أو مسح الحزم المخزنة (`POST /buffer/:far_id/flush`, `DELETE /buffer/:far_id`, `DELETE /buffer`)
- **تحكم التخزين**: تشغيل إشعار يدوي (`POST /buffer/:far_id/notify`)
- **حالة الإشعار**: عرض حالة إشعار DLDR (`GET /buffer/notifications`)

المراقبة والإحصائيات:

- **إحصائيات الحزم**: عدادات الحزم في الوقت الفعلي حسب البروتوكول (GTP، IP، TCP، UDP، ICMP، ARP)
- **إحصائيات XDP**: مقاييس أداء مسار البيانات (تمرير، إسقاط، إعادة توجيه، إلغاء)
- **إحصائيات واجهة N3/N6**: توزيع حركة المرور في الشبكة RAN والشبكة البيانات
- **إحصائيات التوجيه**: أداء بحث FIB (ضربات التخزين المؤقت، عمليات البحث، الأخطاء)

إدارة التوجيه:

- **مسارات UE**: استعلام عن جدول توجيه عنوان IP لـ UE (`GET /routes`)
- **تكامل FRR**: مزامنة المسارات مع خادم Free Range Routing (`POST /routes/sync`)
- **جلسات التوجيه**: عرض جلسات بروتوكول التوجيه (`GET /routing/sessions`)
- **قاعدة بيانات OSPF**: استعلام عن قاعدة بيانات المسار الخارجي لـ OSPF (`GET /ospf/database/external`)

التكوين:

- **تكوين UPF**: استرجاع وتحرير التكوين (`GET /config`, `POST /config`)
- **تكوين مسار البيانات**: استعلام عن التكوين الخاص بمسار البيانات (`GET /dataplane_config`)
- **قدرات XDP**: استعلام عن دعم وضع XDP وقدرات الواجهة (`GET /xdp_capabilities`)
- **سعة خريطة eBPF**: مراقبة استخدام الموارد والسعة (`GET /map_info`)

تكامل واجهة المستخدم على الويب

تم بناء واجهة المستخدم على الويب لـ OmniUPF على هذه الواجهة وتوفر لوحة تحكم تفاعلية لجميع وظائف واجهة برمجة التطبيقات. راجع دليل واجهة المستخدم على الويب للحصول على لقطات شاشة وأمثلة على الاستخدام.

وثا��ق واجهة برمجة التطبيقات Swagger

تم توثيق واجهة برمجة التطبيقات بالكامل باستخدام **مواصفة OpenAPI 3.0 (Swagger)**. توفر واجهة Swagger التفاعلية:

- توثيق كامل لنقاط النهاية مع مخططات الطلب/الاستجابة
- وظيفة التجربة لاختبار استدعاءات واجهة برمجة التطبيقات مباشرة من المتصفح
- تعريفات المخططات لجميع نماذج البيانات
- رموز حالة HTTP واستجابات الأخطاء

مع توثيق مفصل OmniUPF التفاعلية تعرض نقاط نهاية واجهة برمجة تطبيقات Swagger واجهة.

الوصول إلى واجهة Swagger

تتوفر وثائق Swagger على:

```
http://<upf-host>:8080/swagger/index.html
```

على سبيل المثال: `http://10.98.0.20:8080/swagger/index.html`

مسار قاعدة واجهة برمجة التطبيقات

تبدأ جميع نقاط نهاية واجهة برمجة التطبيقات بـ:

```
/api/v1
```

ميزات واجهة برمجة التطبيقات

الترقيم

الترقيم لنقاط النهاية التي تعيد مجموعات بيانات كبيرة. OmniUPF تدعم واجهة برمجة تطبيقات يمنع الترقيم انتهاء المهلة ويقلل من استخدام الذاكرة عند استعلام آلاف الجلسات، PDRs، أو URRs.

أنماط الترقيم المدعومة:

1. **الترقيم القائم على الصفحات** (موصى به):
   - `page`: رقم الصفحة (يبدأ من 1)
   - `page_size`: العناصر لكل صفحة (الافتراضي: 100، الحد الأقصى: 1000)
2. **الترقيم القائم على الإزاحة**:
   - `offset`: عدد العناصر التي يجب تخطيها
   - `limit`: عدد العناصر التي يجب إرجاعها (الحد الأقصى: 1000)

طلبات المثال:

```
# القائم على الصفحات: احصل على الصفحة الثانية مع 50 عنصرًا لكل صفحة
GET /api/v1/pfcp_sessions?page=2&page_size=50

# القائم على الإزاحة: تخطي أول 100 عنصر، إرجاع 50 التالية
GET /api/v1/pfcp_sessions?offset=100&limit=50

# السلوك الافتراضي (بدون معلمات ترقيم): أول 100 عنصر
GET /api/v1/pfcp_sessions
```

تنسيق الاستجابة:

```
{
  "data": [
    { /* session object */ },
    { /* session object */ },
    ...
  ],
  "pagination": {
    "total": 5432,
    "page": 2,
    "page_size": 50,
    "total_pages": 109
  }
}
```

نقاط النهاية المرقمة:

- `/api/v1/pfcp_sessions` - قائمة جلسات PFCP
- `/api/v1/pfcp_associations` - قائمة جمعيات PFCP
- `/api/v1/routes` - مسارات عنوان IP للـ UE
- `/api/v1/uplink_pdr_map` - PDRs (معلومات أساسية) في الاتجاه الصاعد
- `/api/v1/uplink_pdr_map/full` - PDRs في الاتجاه الصاعد مع تفاصيل فلتر SDF كاملة
- `/api/v1/downlink_pdr_map` - PDRs في الاتجاه الهابط IPv4 (معلومات أساسية)
- `/api/v1/downlink_pdr_map/full` - PDRs في الاتجاه الهابط IPv4 مع تفاصيل فلتر SDF كاملة
- `/api/v1/downlink_pdr_map_ip6` - PDRs في الاتجاه الهابط IPv6 (معلومات أساسية)
- `/api/v1/downlink_pdr_map_ip6/full` - PDRs في الاتجاه الهابط IPv6 مع تفاصيل فلتر SDF كاملة
- `/api/v1/far_map` - قواعد إجراءات التوجيه
- `/api/v1/qer_map` - قواعد تنفيذ QoS
- `/api/v1/urr_map` - قواعد تقارير الاستخدام

نقاط نهاية إدارة التخزين:

- `GET /api/v1/buffer` - قائمة بجميع م��ازن FAR مع الإحصائيات
- `GET /api/v1/buffer/:far_id` - الحصول على حالة التخزين لـ FAR محدد

- `GET /api/v1/buffer/notifications` - قائمة بحالة إشعارات DLDR
- `DELETE /api/v1/buffer` - مسح جميع الحزم المخزنة
- `DELETE /api/v1/buffer/:far_id` - مسح التخزين لـ FAR محدد
- `POST /api/v1/buffer/:far_id/flush` - تفريغ (إعادة تشغيل) الحزم المخزنة
- `POST /api/v1/buffer/:far_id/notify` - إرسال إشعار DLDR يدويًا

نقاط نهاية التكوين:

- `GET /api/v1/config` - الحصول على تكوين UPF الحالي
- `POST /api/v1/config` - تحديث تكوين UPF (حقول قابلة للتحرير في وقت التشغيل)
- `GET /api/v1/dataplane_config` - الحصول على التكوين الخاص بمسار البيانات

نقاط نهاية تكامل التوجيه:

- `GET /api/v1/routes` - قائمة مسارات UE
- `POST /api/v1/routes/sync` - تشغيل مزامنة المسار مع FRR
- `GET /api/v1/routing/sessions` - الحصول على جلسات بروتوكول التوجيه
- `GET /api/v1/ospf/database/external` - الحصول على قاعدة بيانات LSA الخارجية لـ OSPF

أفضل الممارسات:

- استخدم `page_size=100` لعرض واجهة المستخدم على الويب
- استخدم `page_size=1000` للتصديرات الضخمة (الحد الأقصى)
- استعلام `pagination.total_pages` لتحديد عدد التكرارات
- زيادة `page_size` لتحسين أداء واجهة برمجة التطبيقات (عدد أقل من الطلبات)

دعم CORS

تم تمكين مشاركة الموارد عبر الحدود (CORS) بشكل افتراضي لجميع نقاط نهاية واجهة برمجة التطبيقات، مما يسمح لواجهة المستخدم على الويب والتطبيقات الخارجية باستهلاك واجهة برمجة التطبيقات من أصول مختلفة.

مقاييس Prometheus

تعرض OmniUPF مقاييس Prometheus على REST، بالإضافة إلى واجهة برمجة التطبيقات نقطة النهاية `/metrics` (`9090:` المنفذ الافتراضي).

توفر المقاييس:

- عدادات رسائل PFCP وزمن الاستجابة لكل نظير
- إحصائيات الحزم حسب نوع البروتوكول
- أحكام إجراءات XDP
- إحصائيات التخزين
- استخدام سعة خريطة eBPF
- تتبع حجم URR

راجع مرجع المقاييس للحصول على الوثائق الكاملة.

الوثائق ذات الصلة

- **دليل واجهة المستخدم على الويب** - لوحة تحكم تفاعلية مبنية على هذه الواجهة
- **مرجع المقاييس** Prometheus - وثائق مقاييس
- **رموز أسباب PFCP** - رموز أخطاء PFCP واستكشاف الأخطاء وإصلاحها
- **دليل إدارة القواعد** - تكوين URR و QER و FAR و PDR
- **دليل إدارة المسارات** - تكامل UE وتوجيه FRR
- **دليل المراقبة** - مراقبة الإحصائيات وتخطيط السعة
- **دليل التكوين** - خيارات تكوين UPF
- **Swagger UI** - وثائق واجهة برمجة التطبيقات التفاعلية (استبدل `localhost` بمضيف UPF الخاص بك)

إدارة مسارات UE

الوثائق ذات الصلة:

- مرجع API - وثائق API الكامل بما في ذلك نقاط نهاية إدارة المسارات
- عمليات واجهة المستخدم على الويب والمراقبة - دليل العمليات

نظرة عامة

يتكامل UPF (وظيفة مستوى المستخدم) مع **FRR (التوجيه الحر)** لإدارة مسارات IP لمعدات المستخدم (UE). ديناميكيًا UE، يتكيف بنية التوجيه. يضمن هذا التكامل أنه مع إنشاء أو إنهاء جلسات UE، تلقائيًا لتعكس الطوبولوجيا الحالية للشبكة.

ما هو FRR؟

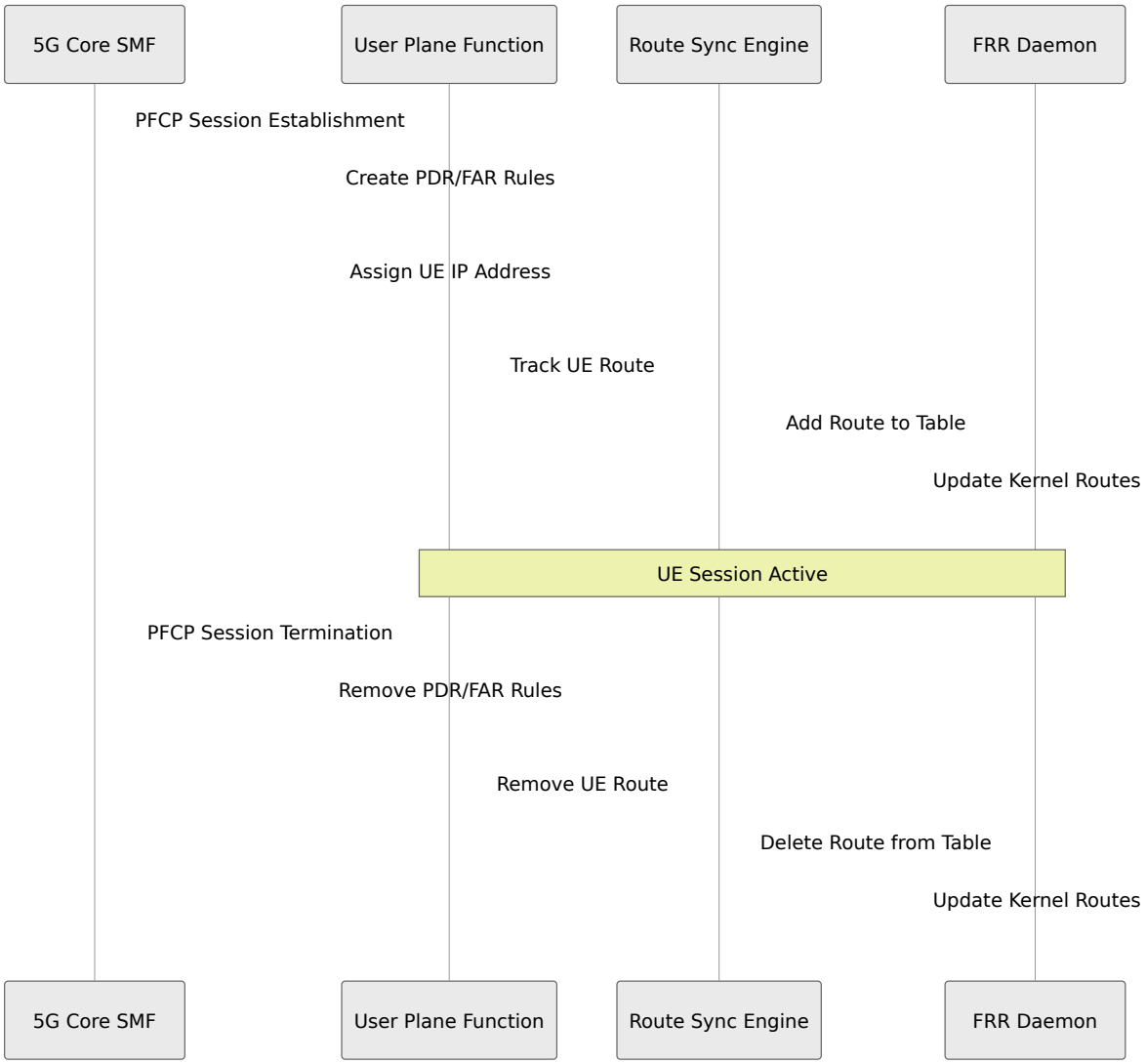
FRR (التوجيه الحر) هو مجموعة بروتوكولات توجيه قوية ومفتوحة المصدر لأنظمة Linux وUnix. يقوم BGP وOSPF وRIP في ذلك بتنفيذ بروتوكولات توجيه مختلفة بما في ذلك يرها. كخادم توجيه يحافظ على جدول توجيه النواة ويمكنه إعادة توزيع المسارات إلى FRR نشرنا، يعمل عناصر الشبكة الأخرى.

الهيكلية



كيف تعمل مزامنة المسارات

دورة حياة المسار



المزامنة التلقائية

يحافظ UPF النشطة لمعدات المستخدم. عند تمكينها، يقوم IP على سجل داخلي لجميع عناوين نظام مزامنة المسارات بـ:

1. **مراقبة جلسات UE**: تتبع جميع جلسات PFCP وعناوين IP النشطة المرتبطة بها
2. **الحفاظ على قائمة المسارات**: الاحتفاظ بقائمة محدثة من المسارات التي تحتاج إلى أن تكون في جدول التوجيه
3. **المزامنة مع FRR**: دفع تحديثات المسار تلقائيًا إلى خادم FRR عبر واجهته البرمجية

4. **التعامل مع الفشل**: تتبع حالة المزامنة (مزامنة/فشلت) لكل مسار وإعادة المحاولة حسب الحاجة

إعداد FRR

التكوين

يتم نشر FRR **قوالب** وتكوينه باستخدام **Ansible** لتحديد معلمات التوجيه الأساسية. تقوم بتعريف Ansible الخاص بك، وتقوم Ansible في كتاب تشغيل **Jinja2** مرة واحدة كقالب تكوين FRR تلقائيًا بنشره إلى جميع مثيلات UPF الخاصة بك أثناء النشر.

يتضمن قالب تكوين FRR Jinja2 النموذجي:

```
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname pgw02
log syslog informational
service integrated-vtysh-config
!
ip route {{ hostvars[inventory_hostname]['ansible_default_ipv4']
['gateway'] }}/32 {{ ansible_default_ipv4['interface'] }}
!
interface {{ ansible_default_ipv4['interface'] }}
 ip address ospf router-id {{hostvars[inventory_hostname]
['ansible_host']}}
 ip ospf authentication null
!
router ospf
 ospf router-id {{hostvars[inventory_hostname]['ansible_host']}}
 redistribute static
 network {{ hostvars[inventory_hostname]['ansible_default_ipv4']
['network'] }}/{{ mask_cidr }} area 0
 area 0 authentication message-digest
!
line vty
!
end
```

نموذج النشر:

1. **تعريف مرة واحدة**: إنشاء قالب FRR Jinja2 في دور Ansible الخاص بك (على سبيل المثال، `roles/frr/templates/frr.conf.j2`)
2. **تكوين المعلمات** Ansible الخاص بك لكل مضيف UPF: تعيين المتغيرات في جرد
3. **نشر في كل مكان** Ansible لنشر تكوين FRR إلى جميع عقد UPF: تشغيل كتاب تشغيل
4. **تخصيص تلقائي** Ansible المتغيرات الخاصة بالمضيف (عناوين IP، معرفات UPF لكل FRR لتخصيص تكوين (الموجه، إلخ: تستخدم

المعلمات القابلة للتخصيص في قالب Jinja2:

- **معلمات OSPF**: معرف الموجه، تكوين المنطقة، طرق المصادقة، إعلانات الشبكة
- **تكوين BGP**: ASN، علاقات الجيران، سياسات المسار، المجتمعات
- **إعادة توزيع المسارات**: أي المسارات لإعادة توزيعها (على سبيل المثال، `redistribute static` لمسارات UE)
- **تصفية المسارات**: خرائط المسار، قوائم البادئات، قوائم الوصول
- **إعدادات الواجهة**: معلمات واجهة OSPF/BGP

تكامل UPF: بمجرد نشر تكوين FRR الأساسي إلى كل مثيل UPF، يضيف UPF ديناميكيًا عناوين IP **مسارات مضيف** كـ (/32 لـ IPv4، /128 لـ IPv6) لمعدات المستخدم عبر واجهة FRR vtysh النشطة. ثم يتم PFCP بناءً على جلسات:

1. **إضافتها كمسارات ثابتة في FRR** بواسطة محرك مزامنة المسار UPF (عبر vtysh)
2. **التقاطها بواسطة FRR** عبر توجيه `redistribute static`
3. **الإعلان عنها لبروتوكولات التوجيه** (OSPF، BGP) وفقًا لتكوين FRR الخاص بك
4. **نشرها إلى الشبكة** بحيث يمكن توجيه حركة مرور UE إلى هذا المثيل من UPF

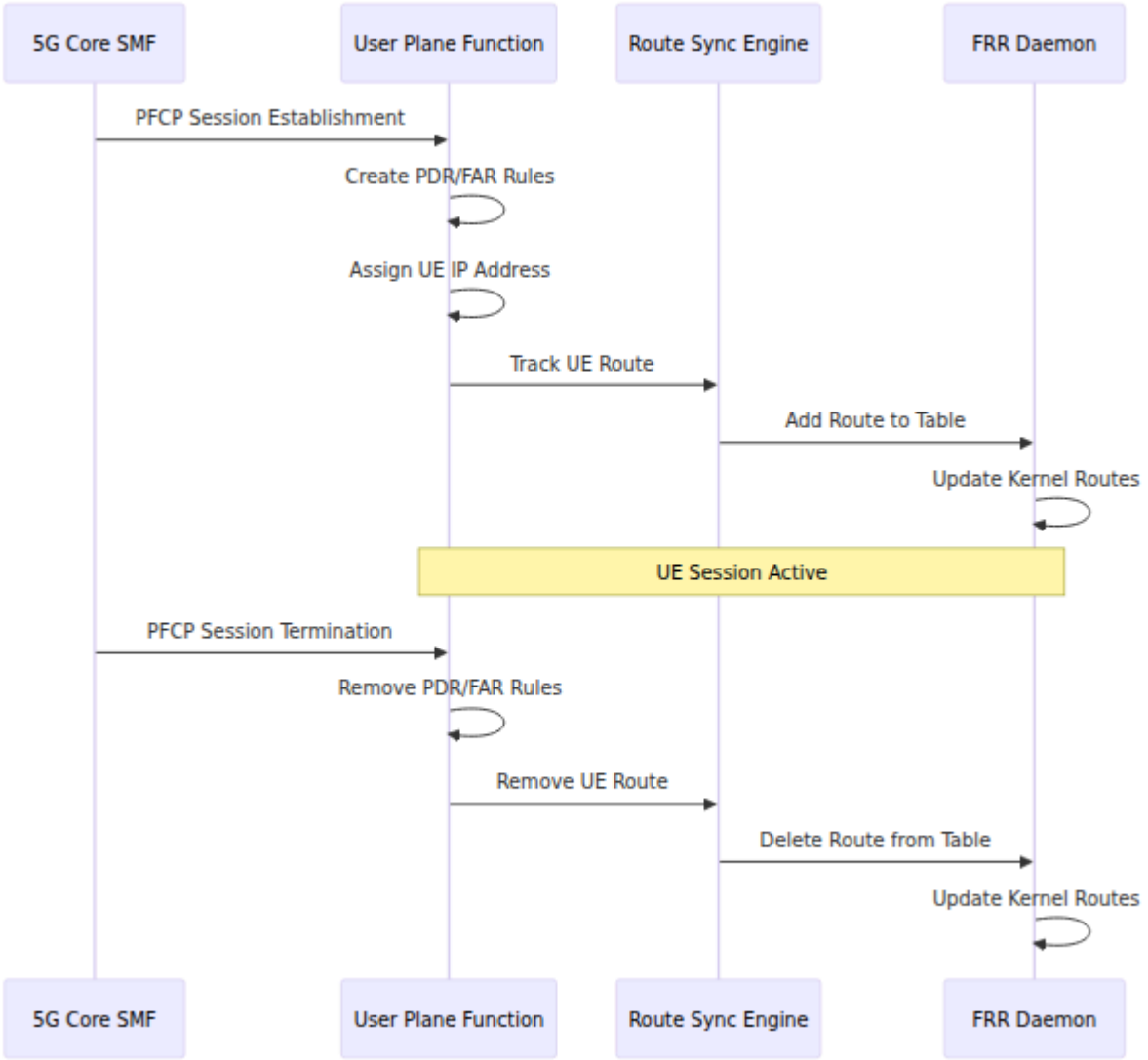
> **مهم**: يضيف UPF المسارات من خلال واجهة vtysh الخاصة بـ FRR، مما يجعلها مسارات ثا��تة في FRR (وليس مسارات نواة). يجب عليك استخدام `redistribute static` في تكوين OSPF/BGP الخاص بك، وليس `redistribute kernel`.

نقاط رئيسية:

- **تحديد مرة واحدة، نشر في كل مكان**: قم بتعريف قالب FRR Jinja2 مرة واحدة في Ansible، وسيتم نشره تلقائيًا إلى جميع مثيلات UPF
- **تتعامل Ansible مع التكوين الثابت**: يقوم قالب Jinja2 بإعداد جميع معلمات بروتوكول التوجيه (OSPF، جيران BGP، مناطق المصادقة، سياسات المسار، إلخ)

- **يتعامل UPF مع المسارات الديناميكية**: يدير كل مثيل UPF ديناميكيًا فقط مسارات UE IP /32 بناءً على جلسات PFCP النشطة
- **الإعلان التلقائي عن المسارات**: يقوم FRR على كل UPF بإعادة توزيع المسارات المحلية لمعدات المستخدم تلقائيًا وفقًا لسياساتك المكونة
- **إدارة مركزية**: تحديث قالب Ansible وإعادة تشغيل كتاب التشغيل لتغيير تكوين التوجيه عبر جميع UPFs في وقت واحد

الإعلان عن المسارات



المراقبة والإدارة

تكامل واجهة المستخدم على الويب

يوفر لوحة تحكم UPF التي تعرض صفحة **المسارات**:

- **حالة المسار**: ما إذا كانت مزامنة المسار مفعلة أو معطلة
- **إجمالي المسارات**: عدد عناوين IP لمعدات المستخدم التي يتم تتبعها
- **إحصائيات المزامنة**: عدد المسارات التي تمت مزامنتها بنجاح وأي فشل
- **المسارات النشطة**: قائمة في الوقت الحقيقي بجميع عناوين IP لمعدات المستخدم الموجودة حاليًا في جدول التوجيه
- **جيران OSPF**: حالة حية للجوار OSPF مع تفاصيل الجيران
- **أقران BGP**: حالة جلسة BGP (عند التكوين) وإحصائيات البادئات
- **المسارات المعاد توزيعها من OSPF**: عرض كامل لـ LSAs الخارجية التي توضح كيف يتم الإعلان عن مسارات UE

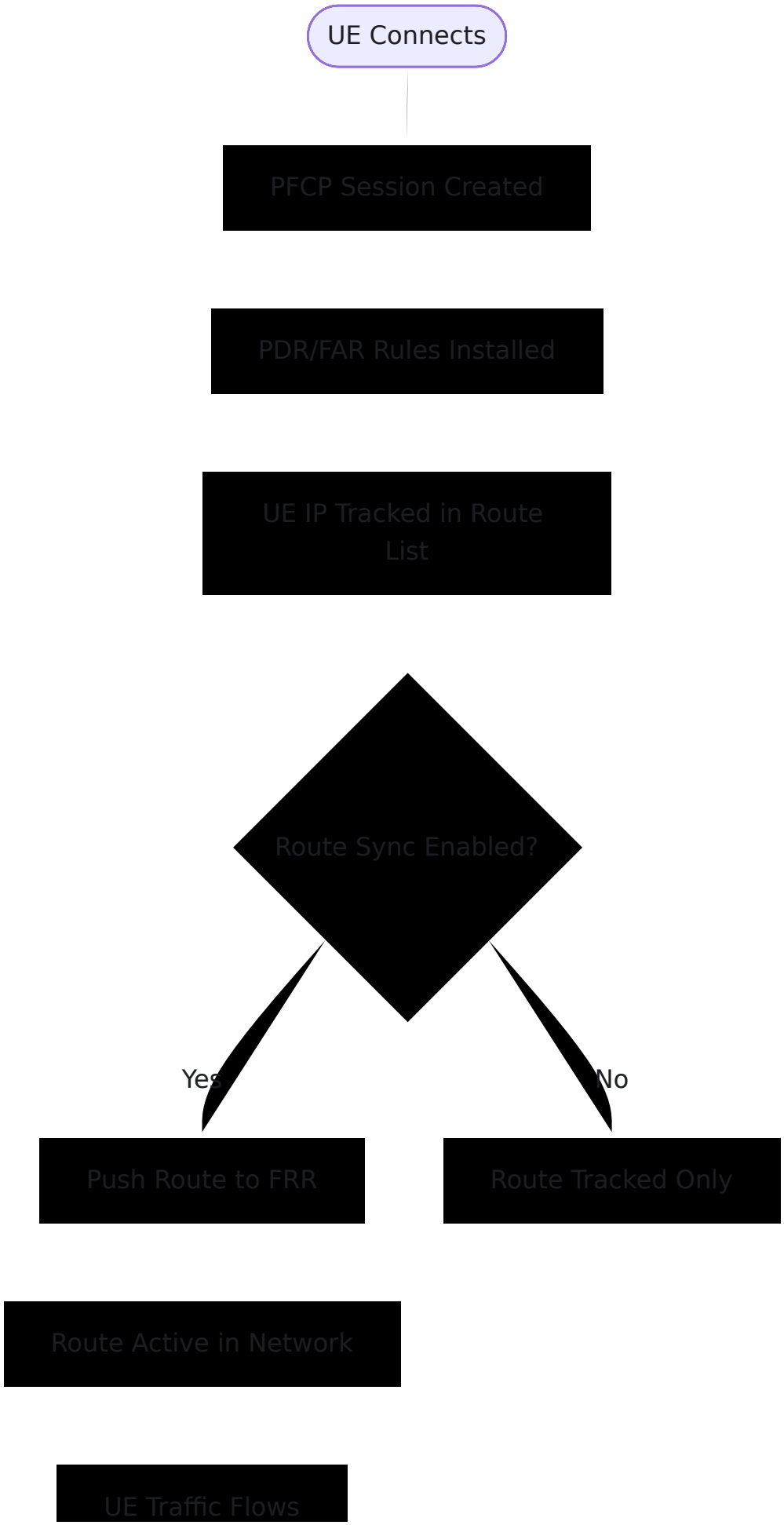
توفر صفحة المسارات رؤية شاملة لمزامنة مسارات UE، وإعلانات بروتوكول التوجيه، وجيران المسارات المعاد توزيعها.

عملية المزامنة اليدوية

يمكن للمسؤولين تشغيل مزامنة المسار اليدوية من خلال واجهة المستخدم على الويب باستخدام زر **مزامنة المسارات**. تقوم هذه العملية بـ:

1. إعادة قراءة القائمة الحالية لجلسات UE النشطة من UPF
2. المقارنة مع جدول توجيه FRR
3. إضافة أي مسارات مفقودة
4. إزالة أي مسارات قديمة
5. إرجاع إحصائيات المزامنة المحدثة

تدفق المسار


UE Connects
PFCP Session Created
PDR/FAR Rules Installed
UE IP Tracked in Route List
Route Sync Enabled?
Yes
No
Push Route to FRR
Route Tracked Only
Route Active in Network
UE Traffic Flows



الفوائد

- **توفير بدون لمس**: يتم إدارة المسارات تلقائيًا دون تدخل يدوي
- **التكيف الديناميكي**: يتكيف توجيه الشبكة في الوقت الحقيقي مع تنقل UE وتغييرات الجلسة
- **قابلية التوسع**: يدعم آلاف المسارات المتزامنة لمعدات المستخدم
- **المرونة**: يتم تتبع عمليات المزامنة الفاشلة ويمكن إعادة المحاولة
- **الرؤية**: رؤية كاملة لحالة المسار من خلال واجهة المستخدم على الويب

التفاصيل الفنية

نقاط نهاية API

يعرض UPF نقاط نهاية إدارة المسارات التالية:

- `GET /api/v1/routes` - قائمة بجميع مسارات UE المتعقبة دون المزامنة

- `POST /api/v1/routes/sync` - مزامنة المسارات مع FRR وإرجاع القائمة المحدثة
- `GET /api/v1/route_stats` - الحصول على إحصائيات التوجيه التفصيلية
- `GET /api/v1/routing/sessions` - الحصول على جلسات بروتوكول التوجيه (أقران BGP، جيران OSPF)
- `GET /api/v1/ospf/database/external` - الحصول على قاعد�ة بيانات OSPF AS-External LSA (المسارات المعاد توزيعها)

> **انظر أيضًا**: وثائق إدارة المسارات للحصول على تفاصيل كاملة عن النقاط النهائية API - والأمثلة

تنسيق المسار

يتم تخزين وإدارة المسارات كعناوين IP بسيطة (على سبيل المثال، `100.64.18.5`). يتعامل خادم التوجيه مع تفاصيل إدخال المسار الكامل بما في ذلك:

- بادئة الوجهة/القناع
- البوابة/الخطوة التالية
- ربط الواجهة
- المقياس والمسافة الإدارية

دعم IPv6

يدعم مدير المسار كل من عناوين UE IPv4 وIPv6:

نوع العنوان	طول البادئة	مثال
IPv4	/32	`100.64.18.5/32`
IPv6	/128	`2001:db8::1/128`

تأكد من أن تكوين FRR الخاص بك يتضمن إعادة توزيع BGP IPv6 أو OSPFv3، بالنسبة لـ IPv6، المناسبة:

```
router ospf6
 redistribute static
```

أو بالنسبة لـ BGP:

```
router bgp <asn>
 address-family ipv6 unicast
  redistribute static
```

تحقق من FRR

قاعدة بيانات OSPF LSA الخارجية

من خلال فحص OSPF يتم إعادة توزيعها بشكل صحيح في UE يمكنك التحقق من أن مسارات الخارجية (النوع 5) المسارات التي تم LSAs تُظهر .FRR الخاصة بـ OSPF قاعدة بيانات حالة رابط من مصادر خارجية OSPF حقنها في.

قاعدة بيانات OSPF لـ FRR تظهر LSAs الخارجية بما في ذلك مسار UE 100.64.18.5/32 الذي يتم الإعلان عنه كمسار E2 (2 (النوع الخارجي).

في المثال أعلاه، يمكنك رؤية:

- **Network LSA (10.98.0.20)**: إعلان الشبكة الخاص بـ UPF
- **Router LSA (192.168.1.1)**: إعلان موجه OSPF
- **LSAs الخارجية**: بما في ذلك مسار UE `100.64.18.5` المعاد توزيعه في OSPF مع نوع المقياس E2 (2 (النوع الخارجي)

يؤكد هذا التحقق أن:

1. UPF يتتبع بنجاح عنوان IP لمعدات المستخدم

2. لقد دفع محرك مزامنة المسار المسار إلى FRR
3. لقد أعاد FRR توزيع المسار في OSPF
4. يتلقى جيران OSPF إعلانات المسار